Für das
Regierungspräsidium Kassel
Am Alten Stadtschloss 1
34117 Kassel

Gutachterbericht

zu den Antragsunterlagen zur "7. Ergänzung zum Abschlussbetriebsplan Werk Werra Grube Merkers" der K+S Minerals and Agriculture GmbH

Auftragsnr. des Kunden:	
Projektnr. des Kunden:	
Vergabenummer:	VG-0437-2020-0140
Projektnr.:	0806-882014
Erstellt von:	Prof. Dr. Uwe Düsterloh PD Dr. Horst-Jürgen Herbert Dr. Sven Wille Dr. Max Wippich
Datum:	19.07.2022
Geprüft von:	Dr. Max Wippich
Freigegeben von:	Reinhard Steenken
Revision:	00

DEEP.KBB GmbH
Eyhauser Allee 2a | 26160 Bad Zwischenahn
info@deep-kbb.de | www.deep-kbb.de



Inhaltsverzeichnis

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: DEEP.KBB GmbH (03/2022): Kommentar der Gutachter des RPKS zur "Erweiterung des Monitoringkonzeptes" der K+S (7. Ergänzung zum Abschlussbetriebsplan Merkers/Springen, Lösungseintapelung im Südwestfeld Springen) – Vermerk, 2 Seiten

Anlage 2: DEEP.KBB GmbH (05/2022): Beantwortung der Stellungnahme der K+S zur Erweiterung des Monitoringkonzeptes – Vermerk, 6 Seiten

Vorbemerkung

Dieser Gutachterbericht wurde im Auftrag des Regierungspräsidiums Kassel (RPKS) erstellt.

Die Gutachtertätigkeit umfasst Leistungen, die durch die DEEP.KBB GmbH (Bad Zwischenahn) als Hauptauftragnehmer im Rahmen des Interessenbekundungsverfahrens VG-0437-20202-0140 zusammen mit Subunternehmern erbracht wurden.

Der Gutachterbericht wurde von den folgenden Personen verfasst:

Prof. Dr. Uwe Düsterloh (IFAD[1])
Inhaltlicher Schwerpunkt: Gebirgsmechanik

PD Dr. Horst-Jürgen Herbert
Inhaltlicher Schwerpunkt: Geochemie

Dr. Sven Wille (DEEP.KBB)
Inhaltliche Schwerpunkte: Geologie, Geochemie

Dr. Max Wippich (DEEP.KBB)
Inhaltliche Schwerpunkte: Projektkoordination, redaktionelle Bearbeitung

Die gutachterliche Prüfung erfolgte auf der Grundlage der individuellen Erfahrung und des Expertenwissens der Gutachter. Der Gutachterbericht gibt die Meinung und Ansicht der Verfasser wider, die nicht notwendigerweise und in jedem Falle mit der Meinung des RPKS übereinstimmen muss. Die Gutachter versichern, den Bericht unparteiisch und nach bestem Wissen und Gewissen frei von Ergebnis-anweisungen erstellt zu haben.

[1] TU Clausthal, Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik (IFAD), Lehrstuhl für Deponietechnik und Geomechanik

Abkürzungen und häufig verwendete Begriffe

ERCOSPLAN	ERCOSPLAN Ingenieurgesellschaft Geotechnik und Bergbau mbH, Erfurt
GTB	Geotechnischer Begleitbericht
HMUKLV	Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
IBZ	IBZ-Salzchemie GmbH & Co. KG, Halsbrücke
IfG	Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig
K-UTEC	K-UTEC AG Salt Technologies, Sondershausen
K+S:	K+S Minerals and Agriculture GmbH, Kassel
MSSPF:	Markscheidesicherheitspfeiler zwischen den Grubenfeldern Winterhall (Hessen) und Springen (Thüringen)
Punkt Q	Invarianter Punkt im quinären System der ozeanischen Salze, an dem eine an Halit, Sylvin, Kainit und Carnallit gesättigte Lösung (Q-Lösung) vorliegt
Punkt R	Invarianter Punkt im quinären System der ozeanischen Salze an dem eine an Halit, Kieserit, Kainit und Carnallit gesättigte Lösung (R-Lösung) vorliegt
RPKS:	Regierungspräsidium Kassel
SW-Feld Springen	Südwestfeld Springen
TLUBN:	Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz
UTD	Untertage-Deponie (hier insbesondere die Untertage-Deponie Herfa-Neurode im Grubenfeld Wintershall)
UTV	Untertage-Verwertung

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Die K+S Minerals and Agriculture GmbH (K+S), eine Tochtergesellschaft der K+S Aktiengesellschaft, fördert im Werk Werra auf dem Gebiet der Bundesländer Hessen und Thüringen Rohsalz im Umfang von ca. 20 Millionen Tonnen jährlich ([a]). Das Verbundwerk Werra ist 1997 aus dem Zusammenschluss der Kaliwerke Hattorf und Wintershall (Hessen) sowie Unterbreizbach und Merkers (Thüringen) hervorgegangen. Die hessischen und die thüringischen Standorte werden durch die Markscheide längs der Landesgrenze getrennt, entlang derer auf beiden Seiten nach staatsvertraglicher Regelung[2] ein "Sicherheitspfeiler von je mindestens 100 m rechtwinklig gegen die Markscheide gemessen und von der Tagesoberfläche bis zur ewigen Teufe reichend" verläuft. Diesem Markscheidesicherheitspfeiler (MSSPF) kommt die Funktion der maßgeblichen geologischen Barriere zwischen den Grubenbauen auf der hessischen und der thüringischen Seite zu. Er darf in seiner Integrität nicht beeinträchtigt und somit nicht durchbaut oder verritzt werden. Mit nachträglichen Änderungen hiervon ausgenommen wurden nur wenige, im Text des (geänderten) Staatsvertrages ausdrücklich genannte grenzüberschreitende Verbindungen zwischen den Grubenbauen.

Am Standort Merkers wird seit 1993 kein Kalisalz mehr gewonnen. Am Standort Wintershall betreibt die K+S Entsorgung GmbH seit 1972 die Untertagedeponie (UTD) Herfa-Neurode sowie seit 1992 die Untertageverwertungen (UTVn) Wintershall und Hattorf ([b]).

Das Zechsteinsalz-Vorkommen der Werra-Region ist eine Lagerstätte der „flachen Lagerung“, die sich dadurch auszeichnet, dass der ursprüngliche horizontale Schichtverband ohne tiefgreifende tektonische Deformation noch weitgehend erhalten ist. Die äußere Grenze des Vorkommens ist durch Subrosion überprägt ("Salzhang"), dazu existieren innerhalb der Salzverbreitung verschiedene kleinräumige Auslaugungssenken, in denen das Salzgestein lokal ebenfalls subrodiert ist. Zwei Flözlager, das (untere) Kaliflöz Thüringen und das (obere) Kaliflöz Hessen, wurden und werden überwiegend im Kammer-Pfeiler-Bau abgebaut.

Das geförderte Rohsalz wird abhängig von seiner Zusammensetzung und vom herzustellenden Produkt durch Heißverlösung, Flotation oder elektrostatische Trennung aufbereitet. Im Zusammenhang mit den von K+S angewandten Gewinnungs- und Aufbereitungsverfahren fallen technische Lösungen sowie salzhaltige Haldenwässer an, die in die Werra eingeleitet werden und bei Überschreitung bestimmter Grenzwerte bislang noch in den geologischen Untergrund (Plattendolomit) versenkt wurden. Da die Versenkung Ende 2021 eigestellt werden musste, sieht die K+S einen zukünftigen Entsorgungsweg im dauerhaften "Einstapeln" der Prozesswässer[3] in den Grubenräumen der Kaliwerke.

Die K+S hat zur Untersuchung technischer, genehmigungsrechtlicher und wirtschaftlicher Aspekte des Einstapelns im Jahr 2016 ein „Forschungsprojekt“ aufgelegt, zu dem sowohl Mitarbeitende relevanter Fachbereiche der K+S als auch externe Experten und Gutachter beigetragen haben. Die Dokumentation hierzu wurde von der K+S bis Ende des Jahres 2018 nach und nach vervollständigt.

Das Einstapeln von Prozesswässern in Abbauen in der flachen Lagerung ist neuartig und nicht Stand der Technik, weil hier in den Trag- und Barrierelementen (Baufeldpfeilern, lateralen Sicherheitspfeilern) Salzgesteine anstehen, denen gegenüber die Stapellösung ein Lösepotential besitzt. Dieser Umstand unterscheidet das Einstapeln in der Werra-Region von der Flutung von Grubenbauen in der „steilen Lagerung“, also in diapirischen Salzlagerstätten, wie sie vielerorts bereits praktiziert wurde und wird.

[2] "Staatsvertrag zum grenzüberschreitenden Abbau von Salzen im Werra-Kalirevier" vom 22.03.1996, mit Änderungen von November 2002 und Dezember 2020.

[3] Im weiteren Text des Gutachterberichts wird, den Sprachgebrauch der K+S aufgreifend, die Gesamtheit der anfallenden und zu entsorgenden Wässer als „Prozesswässer“ bezeichnet.

Vor diesem Hintergrund hat das Hessische Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV) als zuständige Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde für die Bergbauaktivitäten der K+S in Hessen die DEEP.KBB GmbH mit der gutachterlichen Prüfung der Ergebnisse des „Forschungsprojektes“ beauftragt. Von den Autoren des vorliegenden Berichts (vgl. "Vorbemerkung", S. 3) wurde Anfang 2019 ein Gutachterbericht zur Dokumentation zum Forschungsprojekt „Untersuchungen zum Einstapeln und zum Versatz von Prozesswässern in Grubenhohlräumen im hessisch-thüringischen Werra-Fulda-Kalirevier der Werke Werra und Neuhof-Ellers“ der K+S AG vorgelegt ([c]). Die Gutachter kamen im genannten Bericht zu dem Schluss, dass die vorgelegten Unterlagen nicht vollumfänglich geeignet sind, die Machbarkeit der Maßnahme nachzuweisen und dafür vielmehr noch eine Reihe von z.T. grundlegenden Arbeiten durchzuführen wären.

Die K+S selbst hat aus den Ergebnissen des "Forschungsprojektes" abgeleitet, dass die Prozesswässer im Grubenfeld Springen (ehemaliges Werk Merkers und jetzt Teil des Verbundwerkes Werra), und zwar zunächst im SW-Feld, eingestapelt werden können. Die K+S verbindet dabei in ihrem Konzept den alternativen Entsorgungsweg der Prozesswässer mit einer Maßnahme zur Verwahrung des Grubenfeldes Springen, das seit Ende der 1960er Jahre von Zutritten untermineralisierter Lösungen aus dem Subsalinar betroffen ist (vgl. [d]), die bis heute nicht vollständig unterbunden werden konnten. Um eine Genehmigung des Einstapelns zu erwirken, hat die K+S erstmals im August 2020 die "7. Ergänzung zum Abschlussbetriebsplan Werk Werra Grube Merkers" vorgelegt, die das Vorhaben beschreibt und die mit ergänzenden technischen Ausführungen unterlegt ist.

Das SW-Feld Springen – der Einstapelbereich – befindet sich auf dem Gebiet des Freistaates Thüringen und die Zulassung des ergänzten Abschlussbetriebsplans obliegt somit der Thüringischen Bergbehörde, die beim Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz (TLUBN) angesiedelt ist. Aufgrund der staatsvertraglichen Regelung ist jedoch die Verfahrensbeteiligung und, im Falle einer Zulassung, die Erteilung des Einvernehmens durch die Hessische Bergbehörde erforderlich, hier vertreten durch das Dezernat 34 (Bergaufsicht) beim Regierungspräsidium Kassel (RPKS). Im Beteiligungsverfahren hat das RPKS dafür Sorge zu tragen, dass die Integrität des MSSPF und die Sicherheit im Grubenbetrieb Hattorf/Wintershall durch das Einstapeln von Prozesswässern im angrenzenden SW-Feld Springen nicht beeinträchtigt oder gefährdet wird. Ein besonderes Interesse ergibt sich für das Land Hessen zudem aus dem Erfordernis eines langzeitsicher trockenen Zustandes der UTD Herfa-Neurode sowie der beiden UTVn am Standort Wintershall.

Vor dem Hintergrund der Komplexität und relativen Neuartigkeit der mit dem Einstapeln verbundenen Fragestellungen zieht das RPKS im Beteiligungsverfahren einen externen Fachgutachter hinzu. Der entsprechende Gutachterauftrag wurde durch das Land Hessen im Interessenbekundungsverfahren VG-0437-2020-0140 im Juni 2020 an die DEEP.KBB GmbH (DEEP.KBB) vergeben.

1.2 Aufgabenstellung

Im Beteiligungsverfahren steht für das RPKS die Frage nach dem dauerhaften Erhalt der Integrität des MSSPF als maßgebliche geologische Barriere und seiner Funktion als Tragelement im Vordergrund. Für die Erteilung des Einvernehmens ist maßgeblich, dass das Einstapeln von Prozesswässern im SW-Feld Springen den Grubenbetrieb Hattorf/Wintershall und insbesondere die UTD Herfa-Neurode und die beiden UTVn nicht beeinträchtigt oder gefährdet. Die Ausrichtung an den besonderen Schutzinteressen der UTD und der UTVn ergibt sich daraus, dass eine langzeitsichere trockene Lagerung und Verwahrung die Voraussetzungen für deren Zulassung darstellen.

Auswirkungen des Einstapelns auf den MSSPF ergeben sich unmittelbar oder mittelbar aus der Einwirkung der Stapellösung auf die Mineralparagenesen des Pfeilergesteins, also im Wesentlichen der Flözlager. Unmittelbare Auswirkungen sind die Anlösung oder gegebenenfalls sogar Durchlösung des Pfeilers, zu den mittelbaren Auswirkungen zählen – als Folgeerscheinung der Lösung – die Änderung der Spannungsverhältnisse, die Beeinträchtigung der Tragwirkung, akzelerierte Senkung, Gebirgsschlag etc.

Einleitung

Die gutachterliche Prüfung der Antragsunterlagen geht der Frage nach, ob alle möglichen Einwirkungen auf den MSSPF, die sich aus dem Einstapeln von Prozesswässern im SW-Feld Springen ergeben können, von der Antragstellerin K+S in hinreichendem Maße berücksichtigt sind und ob die damit in Verbindung stehenden Prozesse vollständig und plausibel beschrieben und in ihrer Auswirkung nachvollziehbar bewertet sind. Des Weiteren betrachtet sie, ob die zur Beschreibung und Bewertung herangezogenen Methoden, Modellrechnungen und/oder experimentellen Ansätze richtig gewählt wurden und mit dem Stand der Wissenschaft und Technik übereinstimmen. Ebenfalls wird geprüft, ob grundlegende Annahmen und ortskonkrete Gegebenheiten (Geometrie des Grubengebäudes, Geologie) in den Antragsunterlagen hinreichend und nachvollziehbar dokumentiert sind. Die Prüfung fragt auch danach, ob die technischen bzw. betrieblichen Maßnahmen, die zur Vermeidung oder Abmilderung möglicher Auswirkungen geplant sind, in Art und Umfang zielführend erscheinen und wiederum dem Stand der Wissenschaft und Technik entsprechen.

Die Prüfung erfolgt qualitativ und erfahrungsbasiert auf der Grundlage des Expertenwissens der einzelnen Gutachter. Sie stützt sich dabei fast ausschließlich auf die in den Antragsunterlagen enthaltenen Informationen, die nur an einzelnen Stellen und in sehr begrenztem Umfang durch Hinzuziehung von Literatur oder von anderen externen Quellen ergänzt werden. Insbesondere dort, wo in den Antragsunterlagen Zahlenwerte oder Rechenergebnisse mitgeteilt werden, werden diese auf Plausibilität geprüft, wobei es aber nicht die Aufgabe der Prüfung ist, deren zahlenmäßige Richtigkeit durch detaillierte Nachrechnung festzustellen.

2 Umfang und Struktur der Antragsunterlagen

Gegenstand der Prüfung sind die von der K+S mit der "7. Ergänzung zum Abschlussbetriebsplan für den Standort Merkers etc." vorgelegten Antragsunterlagen. Die Vorlage durch die Antragstellerin erfolgte in mehreren Schritten: Der Antrag wurde erstmals im August 2020 eingereicht und, motiviert durch wiederholte Nachforderungen der Behörden bzw. der Gutachter, in der Folge viermal (im Mai, August, Oktober und Dezember 2021) durch zusätzliche Unterlagen ergänzt.

Es sind daher in den Antragsunterlagen sowohl neue oder "fortgeschriebene" Dokumente als auch ältere Ausarbeitungen vereint, wobei nicht in jedem Fall übersichtlich dargestellt wird, ob und gegebenenfalls welche Dokumente durch welche neueren ersetzt oder ergänzt wurden und inwieweit nach Ansicht der Antragstellerin die zuvor erarbeiteten Ergebnisse für die Gesamtaussage weiterhin Relevanz haben. Bei der zweiten Ergänzung (im August 2021) wurde gleichwohl mit dem "Geotechnischen Begleitbericht" ([6], im folgenden GTB) ein zentrales Dokument hinzugefügt, das zum damaligen Zeitpunkt in übersichtlicher und vergleichsweise kongruenter Form erstmals eine Gesamtargumentation unmittelbar erkennbar werden ließ. Leider hat die Antragstellerin in der Folge bewusst und ausdrücklich davon abgesehen, den GTB zu aktualisieren.

Nach der vierten Ergänzung kamen das RPKS und seine Gutachter gemeinsam zu der Einschätzung, dass die damit vorliegenden Unterlagen grundsätzlich eine vertiefte fachlich-inhaltliche Prüfung ermöglichen. Das daraufhin im Februar 2022 durch das TLUBN zusammengestellte "Inhaltsverzeichnis zur 7. Ergänzung zum Abschlussbetriebsplan für den Standort Merkers, Grube Merkers/Grube Springen - Einstapeln von Lösungen im Südwestfeld Springen" erfasst die zu prüfenden Dokumente abschließend und vollständig.

Das genannte Inhaltsverzeichnis wurde als "Quellenverzeichnis 1: Antragsunterlagen" inhaltlich nahezu unverändert in diesen Gutachterbericht übernommen (ab S. 35). Die im Quellenverzeichnis 1 durch eckige Klammer gekennzeichneten Ordnungsnummern – die von der durch die Antragstellerin verwendete Nummerierung abweichen – werden im folgenden Text verwendet, um in kurzer Form Bezüge zu einzelnen Dokumenten herzustellen (externe Quellen sind hingegen mit Buchstaben referenziert, vgl. Quellenverzeichnis 2).

Die von der Antragstellerin K+S vorgelegten Unterlagen wurden von Mitarbeitenden des Unternehmens selbst oder von den Fachgutachtern ERCOSPLAN, IBZ, IfG und K-UTEC erstellt. Sie decken bezüglich ihrer Entstehungszeit einen Zeitraum von Anfang 2018 bis Ende 2021 ab und gehen damit zum Teil noch auf Untersuchungen im Rahmen des "Großforschungsprojekts" der K+S (vgl. Abschnitt 1.1) zurück.

Die Antragsunterlagen haben einen Gesamtumfang von mehr als 1.400 Seiten (Text und grafische Darstellungen). Sie sind in der Mehrheit Anhänge zum eigentlichen Antrag, der "7. Ergänzung zum Abschlussbetriebsplan für den Standort Merkers etc." ([1]). Der Überblick wird jedoch dadurch erschwert, dass insbesondere der GTB (Anhang 6 zum Antrag, [6]) seinerseits durch "Anlagen" und "Anhänge" ergänzt wird, die teilweise die Form umfänglicher Berichte haben (und denen ihrerseits wiederum "Anlagen" beigegeben sind). Daneben stehen die im Dezember 2021 gelieferten "Ergänzungen", die nicht nach einer erkennbaren Systematik in die Unterlagenstruktur eingebunden sind.

Der fachlichen Ausrichtung der Prüfung an den Disziplinen Geologie, Geochemie und Geomechanik folgend wurden nicht alle Dokumente in gleichem Maße berücksichtigt, sondern vielmehr einige schwerpunktmäßig und vertiefend behandelt. Einige wenige sind auch, in Absprache mit dem RPKS, ausdrücklich von der Prüfung ausgenommen (im Quellenverzeichnis 1 durch Streichung gekennzeichnet).

3 Fachlich-inhaltliche Prüfung

Aus der im vorangegangenen Kapitel geschilderten, in Teilen inkongruenten und nur schwer nachvollziehbaren Struktur der Unterlagen ergibt sich für die fachlich-inhaltliche Prüfung die Notwendigkeit, zunächst den letzten Stand des von der Antragstellerin intendierten Vorhabens zu umreißen (Abschnitt 3.1) und den Prüfgegenstand räumlich und inhaltlich abzugrenzen (Abschnitt 3.2). Um sich von der Gliederung der Antragsunterlagen zu lösen und der gutachterlichen Prüfung eine mehr an den vordringlich bedeutsamen fachlich-inhaltlichen Aspekten orientierte Struktur zu verleihen, werden im Abschnitt 3.3 die wesentlichen Elemente des Vorhabens zunächst als Gesamtszenario der Lösungseinwirkung umrissen. Aus diesem Szenario werden fünf Voraussetzungen abgeleitet, die nach Auffassung der Gutachter erfüllt sein müssen, damit die Machbarkeit des von der K+S zur Genehmigung beantragten Vorhabens des Einstapelns von konditionierten Prozesswässern im SW-Feld Springen als belegt gelten kann. Dieses Gesamtszenario resultiert vor allem aus dem Zusammenwirken einerseits des Eindringens der Lösungsfront in den MSSPF in seinem räumlichen und zeitlichen Verlauf sowie andererseits der mechanischen Reaktion des durch die Verlösung geschwächten MSSPF (und der Baufeldpfeiler).

Die abgeleiteten Voraussetzungen sind im Abschnitt 3.4 weiter ausformuliert. Ob und inwieweit die Voraussetzungen nach Auffassung der Gutachter als erfüllt bzw. hinreichend belegt gelten können, wird im Abschnitt 3.5 im Einzelnen ausgeführt. Dabei erfolgt immer wieder der direkte Rückbezug auf relevante Textstellen in den Antragsunterlagen, um die Ausführungen mit Einzelnachweisen oder gegebenenfalls auch mit Hinweisen auf Defizite in der Darstellung zu unterlegen.

3.1 Zweck des Vorhabens der K+S

Die K+S beabsichtigt, die in der Produktion und Aufbereitung anfallenden salzhaltigen Prozesswässer in Grubenräume im SW-Feld Springen einzustapeln. Die Prozesswässer sollen zuvor so "konfektioniert" werden, dass sie zu mindestens 98% an Carnallit gesättigt sind und damit nur noch ein eingeschränktes Lösepotential gegenüber den Flözparagenesen aufweisen (zum Begriff und zum Verfahren der "Konfektionierung" vgl. in [1], Abschnitt 6.2.1, dort insbesondere Fußnote 4).

Die K+S sieht im Einstapeln einen Weg für die Entsorgung bergbaulicher Abfälle, verknüpft dies aber argumentativ mit einer Verwahrungsmaßnahme. So wird in [1] (Kapitel 1) ausgeführt: "Das Einstapeln von Prozesswässern im Grubenfeld Springen bietet neben einer langfristigen und ökologisch hochwertigen Entsorgungsperspektive für die anfallenden Salzabwässer die Möglichkeit, das Grubenfeld Springen dauerhaft ohne Ewigkeitskosten zu verwahren." Ein ökologischer Wert ist diesem Entsorgungsweg sicherlich vor allem im direkten Vergleich mit der in den letzten Jahrzehnten praktizierten Einleitung in die Werra zu attestieren. Mit der Betonung, darauf, dass sie das Grubenfeld Springen damit zugleich "ohne Ewigkeitskosten" zu verwahren beabsichtigt, wird in der zitierten Textpassage zugleich eine weitere vorrangige Intention der Antragstellerin deutlich.

Über die Absicht der Verwahrung des Grubenfeldes Springen hinaus wird in [1] (Abschnitt 6.3) sogar die Zielsetzung formuliert, dass Einstapeln der konfektionierten Prozesswässer diene "dem Schutz des Markscheidesicherheitspfeilers zwischen den Grubenfeldern Wintershall und Springen vor unkontrollierten Zuflüssen aus dem Salzlösungsvorkommen (Querort 23)". Als Zweck des Einstapelns den Schutz des MSSPF anzuführen, diesen (und die Baufeldpfeiler) aber zugleich einer Lösung auszusetzen, die gegenüber dem Pfeilergestein ein Lösepotential besitz und somit zur Schwächung der Trag- und Abdichtelemente beitragen wird, sowie dazu für die Leitungsverbindung noch eine Durchörterung des MSSPF vorzusehen, wird nach Einschätzung der Gutachter vor allem in der öffentlichen Diskussion schwierig zu vermitteln sein. Zumindest wäre gleichzeitig darzustellen, welche Auswirkungen des Einstapelns bezüglich Querort 23 zu erwarten sind und dass keine alternativen Maßnahmen zu einer besseren Zielerreichung verfügbar sind.

Während die K+S das Einstapeln im gesamten Feld Springen in den Blick nimmt ("Gesamtvorhaben"), beschränkt sie den eigentlichen Antragsgegenstand jedoch zunächst auf das Einstapeln im SW-Feld als "abgeschlossene Maßnahme" (vgl. in [1], Kapitel 1). Dies wurde auch in einem Schreiben der K+S an das TLUBN vom 02.11.2021 noch einmal deutlich gemacht. Im weiteren Verlauf (Schreiben der K+S an das TLUBN vom 07.12.2021, [7]) werden dann auch betriebliche Maßnahmen zur Lösungshaltung in Aussicht gestellt, die dauerhaft zu gewährleisten in der Lage sein sollen, den Stapel auf das SW-Feld Springen räumlich zu begrenzen.

3.2 Räumliche und inhaltliche Abgrenzung des Prüfgegenstandes

Die für das Einstapeln konfektionierter Prozesswässer vorgesehenen Grubenteile befinden sich auf der 1. und 2. Sohle des SW-Feldes Springen. Die dortigen Abbaue wurden, dem generellen Einfallen der Lagerstätte folgend, in den Jahren 1975 bis 1992 aufgefahren ([6], Abschnitt 2.2.1, S. 34). Der tiefste Punkt im relevanten Teil des Grubengebäudes liegt nach den risswerklichen Darstellungen der K+S bei ca. -310 m NN.

Das SW-Feld Springen bildet einen schmalen, auf beiden Sohlen jeweils nur mit einer einzigen Streckenverbindung an das Zentralfeld bzw. an die Felder Abteroda und Alexandershall im Norden angeschlossenen Teil des Grubengebäudes. Im Nordwesten, Westen und Süden grenzt es – dem Verlauf der Grenze zwischen der alten Bundesrepublik und der ehemaligen DDR bzw. jetzt zwischen dem Land Hessen und den Freistaat Thüringen folgend – an die hessischen Grubenteile (Standort Wintershall) an und ist von diesen durch den MSSPF getrennt. Die östliche Abbaugrenze entspricht dem lokalen Verlauf der Grenze der Auslaugungssenke von Vacha-Oberzella.

Die konfektionierter Prozesswässer sollen ohne Begrenzung durch Abdichtungsbauwerke bis in das Niveau von -140 m NN in das SW-Feld Springen eingestapelt werden ([6], Abschnitt 2.2.1, S. 34). Bei konvergenzbedingtem Auspressen der Stapellösung aus den tiefergelegenen Grubenteilen wird ein Anstieg des Lösungsspiegels bis auf -100 m NN gestattet, auf diesem Niveau jedoch mit entsprechenden Lösungshaltungsmaßnahmen dauerhaft gehalten (vgl. [7], Abschnitt A.I.). Das maximal zulässige Niveau des Spiegels wurde gewählt, um zu verhindern, dass die Stapellösung in das benachbarte Feld Abteroda übertreten kann (eine Hochlage oder "Schwelle" liegt in der verbindenden Nordwestlichen Richtstrecke im Sohlenniveau von -96,5 m NN; vgl. [6], S. 121).

Aus den zuvor genannten Rahmenbedingungen des beantragten Vorhabens ergibt sich zugleich die räumliche Abgrenzung der gutachterlichen Prüfung: Diese umfasst somit den durch die -100 m Teufenlinie umschriebenen Teil des SW-Feldes auf der 1. und 2. Sohle. Aus dieser Abgrenzung resultiert wiederum der zu betrachtende Abschnitt des MSSPF. Ausgenommen, weil als maßgebliche Barriere gegen die hessischen Grubenbaue nicht relevant, ist indes der an die Auslaugungssenke von Vacha-Oberzella angrenzende Abschnitt des MSSPF entlang der südlichen bzw. südöstlichen Umgrenzung des SW-Feldes Springen. Das RPKS hat (in einem Schreiben an das TLUBN vom 14.10.2021) für beide Abbausohlen zwei begrenzende Koordinaten für den relevanten linienhaften Abschnitt des MSSPF definiert[4]

Allein für den so definierten Abschnitt ist der dort ortskonkret dokumentierte bzw. anzunehmende geologische Aufbau zu berücksichtigen und die Dimensionierung allein dieses Abschnitts ist Gegenstand aller weiteren Betrachtungen Es sei ergänzend angemerkt, dass die vom RPKS vorgenommene Abgrenzung des Prüfgegenstandes nicht deckungsgleich mit dem von der Antragstellerin definierten "vorhabensrelevanten Betrachtungsraum" ist (vgl. [6], Abschnitt 2.2.2, S. 35 ff).

[4] 1. Sohle: Risswerk-Feldeseckpunkt 167 mit R 3573723,07, H5638495,60 und Risswerk-Feldeseckpunkt M8 mit R 72596,00, H5636376,00; 2. Sohle: Risswerk-Feldeseckpunkt 170 mit R 3573994,92, H5638662,97 und Risswerk-Feldeseckpunkt M8 mit R 72596,00, H5636376,00.

Im Sinne einer inhaltlichen Abgrenzung berücksichtigt die gutachterliche Prüfung ausschließlich ein Einstapeln im SW-Feld Springen unter den Maßgaben des zur Genehmigung vorgelegten abgeschlossenen Vorhabens. Nicht Gegenstand der Prüfung sind, ungeachtet gegebenenfalls parallel bereits mitgeteilter Absichten oder Planungen der K+S, alle mit einem weiteren Auspressen oder einem aktiven Einstapeln der konfektionierten Prozesswässer über das Teufenniveau -100 m NN hinaus einhergehenden Auswirkungen auf das Grubengebäude und den MSSPF. Aus der Betrachtung ausgenommen sind insbesondere Aussagen

- zu einer möglichen Beeinträchtigung der Funktionalität des MSSPF durch die Durchörterung für die Leitungsverbindung,
- zur Machbarkeit, Funktionalität und langzeitsicheren Dichtigkeit von Abschlussbauwerken und geotechnischen Barrieren,
- zur technischen Machbarkeit und Sinnhaftigkeit eines "Überstapelns" des Salzlösungszutritts am Querort 23, um diesen dauerhaft zu unterbinden und somit zu "sanieren",
- zur Frage, ob die Funktionalität des MSSPF gegebenenfalls betroffen ist, sobald der Stapel durch Einschluss oder weiteres Überstapeln einen größeren Druck aufbaut, als für das hier beantragte Vorhaben anzunehmen ist (etwa 210 m Säule der Stapellösung),
- zur Frage, ob die vollständige Verfüllung des gesamten Grubenfeldes Springen mit Prozessabwässern den gültigen Abschlussbetriebsplan und/oder seine Nebenbestimmungen sowie gegebenenfalls auch und insbesondere den Rahmenbetriebsplan verletzt, sowie
- zur übergeordneten Frage, ob das Einstapeln von Prozesswässern eine bergsicherheitliche Maßnahme darstellt.

3.3 Zugrundeliegendes Gesamtszenario

Die Stapellösung wird mit einer Rate von etwa 1,2 bis 1,3 Millionen Kubikmeter jährlich im SW-Feld Springen bis zu einem Teufenniveau von -140 m NN eingestapelt. → **Voraussetzung (1)**

Vor dem Einstapeln werden die Prozessabwässer so "konditioniert", dass die Stapellösung mindestens eine 98%ige Carnallit-Sättigung bei 20°C erreicht. Nach Einleitung in die Grubenräume steht die derart konditionierte Lösung im Stapel an den ehemaligen Abbaustößen, an den Baufeldpfeilern und am MSSPF an. → **Voraussetzung (2)**

Im SW-Feld Springen sind an den Stößen und Pfeilern und am MSSPF die Kaliflöze Thüringen (1. Sohle) und Hessen (2. Sohle) aufgeschlossen. Das Kaliflöz Thüringen ist im Betrachtungsraum vorwiegend als Hartsalz mit auflagerndem Carnallitit ausgebildet. Im Kaliflöz Hessen tritt überwiegend Hartsalz auf, das bereichsweise ebenfalls von Carnallitit überlagert wird. Die Stapellösung besitzt ein Lösepotential gegenüber den anstehenden Flözparagenesen, nicht jedoch gegenüber dem halitischen Begleitgestein. Die Lösefront wird somit schichtgebunden eindringen, sodass sich schichtparallele Lösungsschramen ausbilden werden. Die Geschwindigkeit des Eindringens der Lösefront wird allein von der Löserate und damit sowohl von der Lösungszusammensetzung und -temperatur als auch von der Mineralogie, Textur und Stratigraphie der Flözlager bestimmt. Das Eindringen der Lösung wird nicht (auch nicht im halitischen Begleitgestein) durch erhöhte Wegsamkeiten z.B. entlang von bruchtektonischen Elementen beeinflusst → **Voraussetzung (3)**

Das Verständnis der grundlegenden Prozesse bei der Auflösung von Carnallitit einerseits und Hartsalz andererseits ist von entscheidender Bedeutung für die geochemische Beurteilung der Auswirkungen des Einstapelns. → **Voraussetzung (4)**

Die Prozesse der Carnallitit- und der Hartsalzauflösung unterscheiden sich wesentlich in Hinblick auf die zu erwartenden Prozessgeschwindigkeiten. Im Kontakt mit Carnallitit wird die Stapellösung durch

Auflösung von Carnallit schneller die Zusammensetzung am Punkt Q (des quinären Systems der ozeanischen Salze) erreichen, als in dem Fall, dass die Lösung nur mit Hartsalz im Kontakt steht und die Zusammensetzung am Punkt Q als Ergebnis der Auflösung von Sylvin und Kieserit erreichen wird. In beiden Fällen ist die Stapellösung nach Erreichen der Zusammensetzung Q nicht im thermodynamischen Gleichgewicht mit Kieserit, weshalb dieser gelöst wird. Durch die Auflösung von Kieserit kommt es zu einer Untersättigung an Sylvin, welche die Auflösung von Sylvin bzw. von Carnallit zur Folge hat, sofern Sylvin der Lösung nicht zugänglich ist. Die Auflösung von Kieserit und Sylvin bzw. Carnallit kann bei gleichzeitiger Bildung von Kainit unbegrenzt voranschreiten, bis (1.) Kieserit, Sylvin bzw. Carnallit oder die Lösung aufgezehrt ist oder (2.) Kieserit oder Sylvin bzw. Carnallit nicht mehr durch die Stapellösung erreicht werden kann. Bei dem unendlichen Kainit-bildenden Kreisprozess wird Lösung verbraucht, da das Volumen der Mineralneubildungen größer als das Volumen der Ausgangsminerale ist.

Da aus rein thermodynamischer Sicht die Auflösungsprozesse kein Ende finden und somit theoretisch eine vollständige Durchlösung des MSSPF zur Folge hätten, müssen zusätzlich andere Mechanismen zuverlässig wirken, damit das Eindringen der Lösefront in den MSSPF dennoch auf ein nicht schadenswirksames Maß beschränkt bleibt. Die Prozesse müssen dadurch zum Erliegen kommen, dass, gemäß (2.), kein Kieserit oder kein Sylvin bzw. Carnallit mehr von der Stapellösung erreicht werden kann.

Die vorgenannte Bedingung kann durch den Umstand erfüllt werden, dass die poröse Struktur des nach Verlösung von Sylvin und Kieserit im Flözlager verbleibende Löseresiduat (oder "Matrix") eine signifikant reduzierte Festigkeit bzw. Tragfähigkeit besitzt und infolge der einwirkenden Gebirgsspannungen derart kompaktiert wird, dass die Lösungschramen an der Kontur geschlossen werden.Die damit einhergehende Setzung und akzelerierte Senkung muss indes so ablaufen, dass sie in ihrem zeitlichen Ablauf und in ihrer räumlichen Auswirkung allenfalls zu einer tolerierbaren Verformung der Trag- und Barriereelemente aber keinesfalls zu einem rupturellen Pfeiler- und/oder Schwebenversagen führt. → **Voraussetzung (5)**

3.4 Voraussetzungen

(1) Die Stapellösung wird bis zur Teufenlinie bei -140 m NN eingestapelt. Darüber hinaus ist ein konvergenzbedingtes Auspressen der Stapellösung bis -100 m NN zulässig. Ein weiterer Anstieg über dieses Teufenniveau hinaus wird durch geeignete Maßnahmen – in jedem Falle aber ohne geotechnische Barrieren – verhindert. Höhergelegene Teile des Grubengebäudes stehen mit dem Stapelraum in Verbindung, sind lufterfüllt und unter Atmosphärendruck, sodass im Stapel dauerhaft allein der hydrostatische Druck der Lösungssäule wirkt.

(2) Die Stapellösung ist im Stapel unter den dort herrschenden Druck- und Temperaturbedingungen (Temperatur im Baufeldtiefsten mit 20°C angegeben) zu mindestens 98% an Carnallit gesättigt. Dauerhaft wird dieser Sättigungszustand nicht unterschritten. Ein Zutritt von anderen (untersättigten) technischen oder natürlichen Lösungen oder Wechselwirkungen mit anderen Lösungen kann sicher ausgeschlossen werden. Die notwendigen Maßnahmen, um die genannte Zusammensetzung zu gewährleisten und während des Einstapelns dauerhaft zu überwachen, sind eingeplant und hinreichend beschrieben.

(3) Die Geometrie der Grubenbaue und die Dimensionen der Barriereelemente (v.a. des MSSPF) sind zutreffend und umfassend (z.B. mit entsprechenden risswerklichen Darstellungen) beschrieben. Die geologischen Verhältnisse und insbesondere die Mineralparagenese, Mächtigkeit und Textur sowie die Lagerungsverhältnisse der Flözlager und das Auftreten bruchtektonischer Elemente sind konsistent und räumlich abdeckend ohne maßgebliche Kenntnislücken dokumentiert. Die der Darstellung zugrundeliegenden Methoden der geologischen Aufnahme entsprechen dem Stand von Wissenschaft und Technik.

(4) Die geochemischen Grundlagen und die grundlegenden bei der Auflösung von Hartsalz und Carnallitit ablaufenden Prozesse sind richtig verstanden und werden den Betrachtungen zugrunde gelegt. Die lokationsspezifischen Verhältnisse wie insbesondere die Mineralparagenese, Mächtigkeit und Textur sowie

die Lagerungsverhältnisse der Flözlager sind hinreichend und richtig berücksichtigt. Die ermittelten Lösegeschwindigkeiten sind korrekt und ohne detaillierte Nachrechnung nachvollziehbar. Die zur analytischen, experimentellen und/oder rechnerischen Ableitung der wesentlichen Parameter verwendeten Methoden und Werkzeuge entsprechen dem Stand von Wissenschaft und Technik und sind hinreichend dokumentiert.

(5) Mit geeigneten geomechanischen Modellrechnungen ist nachgewiesen, dass das Löseresiduat der Flözlager im zeitlichen Verlauf des Einstapelns kompaktiert wird, bevor das Eindringen der Lösefront in den MSSPF ein standsicherheitliches relevantes Maß erreicht hat. Es ist weiterhin der rechnerische Nachweis geführt, dass durch die Setzung und akzelerierte Senkung die Integrität des MSSPF weder unmittelbar noch mittelbar gefährdet ist. Im Hinblick auf die spezifischen Sicherheitsanforderungen an die UTD Herfa-Neurode ist weiterhin insbesondere nachgewiesen, dass das Fluid- und das Minimalspannungskriterium zu keinem Zeitpunkt verletzt werden. Die mitgeteilten Ergebnisse sind korrekt und in ihrer Größenordnung ohne detaillierte Nachrechnung nachvollziehbar. Die verwendeten Berechnungs- und Modellierungswerkzeuge sowie die zugrunde gelegten Stoffgesetze entsprechen dem Stand von Wissenschaft und Technik und sind hinreichend dokumentiert. Die in den Berechnungsmodellen idealisiert wiedergegebene Abbaukonfiguration und die Geologie sind konservativ repräsentativ für die in situ anstehenden Verhältnisse.

3.5 Prüfung der Voraussetzungen

3.5.1 Abgrenzung des Stapelraums und Druckniveau

Die K+S beabsichtigt, die konfektionierten Prozesswässer im SW-Feld Springen bis zu einem Teufenniveau von -140 m NN einzustapeln. Wird eine Gesamtkapazität des ausgewiesenen Stapelraums von etwa 5,1 Millionen Kubikmeter bei einer Einstapelrate von 1,2 bis 1,3 Millionen Kubikmeter jährlich (vgl. [1], Abschnitt 6.6.3; [6], Abschnitt 3.4) zugrunde gelegt, ist dieses Niveau nach rund vier Jahren erreicht. Unterstellt man einen Beginn des Einstapels noch im Jahr 2023, so wird das abgeschlossene Vorhaben etwa im Jahr 2027 vollständig umgesetzt sein.

Dazu wird im weiteren zeitlichen Verlauf ein konvergenzinduzierter Anstieg des Spiegels maximal bis zu einem Niveau von -100 m NN gestattet, um zu gewährleisten, dass auch über lange Zeit ein Übertritt von Lösungen in benachbarte Baufelder ausgeschlossen werden kann. Motiviert durch eine Nachforderung des RPKS stellt die Antragstellerin [7] (dort Abschnitt A.I.) klar, dass sie daher vorsieht "eine unkontrollierte Ausbreitung bzw. Migration dieser Lösungen durch Lösungshaltungsmaßnahmen im Niveau -100 mNN zu verhindern." Mit dieser Klarstellung sehen die Gutachter die Voraussetzung als im Grunde erfüllt.

Die technische Machbarkeit der Lösungshaltung kann nicht geprüft werden und muss als Erweiterung der Voraussetzung als gegeben unterstellt werden, da K+S hierzu keine Planungen vorgelegt hat und vielmehr "die tatsächliche technische Umsetzung" von den Randbedingungen im Grubenfeld Springen abhängig macht, die "zu dem Zeitpunkt vorliegen, wenn der Lösungsspiegel der aus dem Südwestfeld verdrängten Lösungen das Niveau -100 mNN nahezu erreicht hat" ([7], Abschnitt A.I.). Vorbehaltlich der Richtigkeit der vorgelegten Ausbreitungsrechnung ([6], Abschnitt 6.7 ") ist dieser Zustand etwa im Jahr 2900 erreicht. Die Abschätzung der konvergenzbedingten Ausbreitung der eingestapelten Lösung und die daraus abgeleitete zeitliche Dimension ist den Gutachtern in der Größenordnung plausibel. Eine eigentliche Nachrechnung ist jedoch nicht möglich, da die K+S keine Eingangsparameter mitteilt.

Im Rahmen des zur Genehmigung vorgelegten abgeschlossenen Vorhabens ist nicht vorgesehen, das SW-Feld Springen (bzw. Teile davon) durch geotechnische Barrieren zu kapseln. Ausgeführt wird hierzu in [1] (Abschnitt 6.4.3): „Technische Maßnahmen zur Abgrenzung des Einstapelbereiches bis -140 mNN sind weder auf der 1. noch auf der 2. Sohle vom Südwestfeld Springen erforderlich.“ Die Gutachter gehen daher davon aus, dass der Stapelraum somit zu den höhergelegenen Teilen des Grubengebäudes hin offenbleibt,

welche ihrerseits lufterfüllt (trocken) und unter Atmosphärendruck stehen bleiben. Wie die K+S wiederum in [7] ausführt folgt daraus, dass sich dauerhaft "im eingestapelten Lösungskörper hydrostatische Druckverhältnisse einstellen, die sich aus einem maximalen Lösungsspiegel bei -100 mNN ableiten." ([7], Abschnitt A.I.). Dies entspricht unter Annahme einer Dichte der Stapellösung von 1,28 bis 1,38 g/cm³ (vgl. [6], Tab 11) überschlagsmäßig einem Druck von 27 bis 29 bar.

Die Erfüllung der oben im Einzelnen ausgeführten Voraussetzung ist deshalb für alle nachfolgenden Betrachtungen relevant, weil damit gewährleistet ist, dass der Lösungsdruck im Stapel zu keinem Zeitpunkt über dem Betrag der minimalen Hauptspannung im Gebirge liegt, sodass eine druckgetriebene Infiltration in das Salzgebirge ausgeschlossen werden kann. Auch in dem Fall, dass im relevanten Abschnitt des MSSPF bruchtektonische Elemente auftreten, die durch die geologische Aufnahme nicht dokumentiert sind (vgl. auch Abschnitt 3.5.3), wäre bei den vorausgesetzten Druckverhältnissen gewährleistet, dass diese nicht als Migrationswege für die Stapellösung geöffnet werden. In diesem Zusammenhang ist ferner für Gebirgsbereiche, die durch tektonische Strukturelemente wie z.B. Rupturen, Schlechten oder Klüfte gekennzeichnet sind, aufzuzeigen, dass diese keine Bereiche verminderten hydraulischen Widerstands darstellen.

Aus der dauerhaften Abgrenzung des Stapels entlang der Teufenlinie bei -100 m NN folgt weiterhin, dass der Zutritt untermineralisierter Lösungen aus dem Subsalinar am Querort 23 vom Stapelraum isoliert ist. Allerdings muss in diesem Zusammenhang einschränkend festgehalten werden, dass zwar das Querort 23 selbst außerhalb liegt, zwischen -140 und -100 m NN jedoch die Ansatzpunkte von Bohrungen liegen (vgl. z.B. [6-1-3], dort Anlage 3.2-12), über die praktisch ein Anschluss an den Stapelraum hergestellt ist.

3.5.2 Zusammensetzung und Überwachung der Stapellösung

Bezüglich der Maßnahmen zur Sicherstellung der Qualität der Stapellösung wurde mit der Antragstellerin über das RPKS eine ausführlichere Korrespondenz geführt. Diese Korrespondenz liegt in ihrem letzten Stand dem Gutachterbericht als Anlage 1 bei. Sie behandelt Detailfragen zum Lösungsmonitoring und dokumentiert die Auffassung der Gutachter, welche Anforderungen bezüglich des Lösungsmonitorings zur Erfüllung der im Abschnitt 3.4 genannten Voraussetzung (2) zu stellen sind.

Damit die Voraussetzung (2) erfüllt ist, muss die Stapellösung minimal eine 98%ige Sättigung bezüglich des Minerals Carnallit aufweisen, und zwar dies bei der höchsten nahezu ungestörten und weitestgehend durch Abbau und Bewetterung unbeeinflussten Gebirgstemperatur in dem den Stapel umschließenden Salzgestein. Diese Maximaltemperatur ist im Grubentiefsten zu erwarten. Entsprechend ist bei Ableitungen von Anforderungen an die Eigenschaften der Stapellösung insbesondere die Definition des Punktes Q mit 100%iger Carnallit-Sättigung mit dieser Bezugstemperatur maßgeblich.

Im GTB ([6], z.B. S. 39) wird als im Baufeldtiefsten gemessene Temperatur ein Wert von 20°C angegeben. Nähere Angaben zu den durchgeführten Temperaturmessungen werden nicht gemacht. Voraussetzung für die Richtigkeit aller angestellten Betrachtungen, die sich mit temperaturabhängigen Wechselwirkungen der Stapellösung mit dem Gebirge befassen, ist, dass die annähernd ungestörte Gebirgstemperatur im Grubentiefesten tatsächlich bei 20°C liegt.

Zur Temperatur von 20°C wird in den Antragunterlagen nicht immer konsequent ein eindeutiger Bezug hergestellt (s. auch Anlage 1, vgl. auch Versuchstemperatur IBZ bei 25°C), obwohl diese im GTB klar als Bezugstemperatur für die Carnallit-Sättigung benannt wird. Verschiedene thermodynamische Datensätze liefern unterschiedliche chemische Zusammensetzungen für den Punkt Q_{20} (Punkt Q bei 20°C) und somit auch verschiedene Werte für den zum Erreichen einer 100%igen Carnallit-Sättigung minimal erforderlichen Magnesium-Gehalt einer Lösung. Ohne Benennung einer konkreten Quelle für die verwendete Definition des Punktes Q wird im GTB ([6], S. 63) festgestellt, dass eine 98%ige Carnallit-Sättigung einem Magnesium-Gehalt von 9,6 g Mg / 100 g H_2O entspricht.

Eine beispielhafte Nachrechnung unter Verwendung der Definition des Punktes Q der anerkannten THEREDA-Datenbasis (z.B. mit dem Modellierungsprogramm PHREEQC) ergibt für eine Lösung mit 98%iger Carnallit-Sättigung bei 20°C einen Magnesium-Gehalt von 9,9 g Mg / 100 g H_2O. Andersherum entsprechen beispielsweise die von der Antragstellerin angesetzten 9,6 g Mg / 100 g H_2O lediglich einer 95%igen Carnallit-Sättigung, wenn wiederum die Definition des Punktes Q bei 20°C der THEREDA-Datenbasis verwendet wird. Die von der Antragstellerin verwendete Datenbasis ist im GTB nicht ausreichend nachvollziehbar beschrieben und es ist nicht erkennbar, aus welchem Grund genau diese vorrangig vor anderen thermodynamischen Grundlagedaten zur Definition des Punktes Q verwendet wurde. Daher kann auch eine Entsprechung der 98%igen Carnallit-Sättigung bei 20°C mit einem Gehalt von minimal 9,6 g Mg / 100 g H_2O durch die Gutachter nicht bestätigt werden.

In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass gemäß Darstellung in [6] (S. 63) eine verfahrenstechnisch unvermeidbare Untersättigung an Carnallit von 2% angesetzt werden muss, im Wesentlichen, um Kristallisationseffekten in den Rohrleitungen zu begegnen. Je nach Verwendung unterschiedlicher thermodynamischer Datensätze kann der von der Antragstellerin angesetzte erforderliche Magnesiumgehalt von 9,6 g Mg / 100 g H_2O allerdings bereits einer Untersättigung von deutlich größer als 2% entsprechen.

Eine fortlaufende Qualitätssicherung und Überwachung der Zusammensetzung der Stapellösung halten die Gutachter für unabdingbar. Hinsichtlich der von der Antragstellerin vorgeschlagenen Überwachung auf der Grundlage eines gleitenden Monatsmittels (z.B. [4-2] und Kapitel 7 in [6]) sehen die Gutachter jedoch die Schwierigkeit, dass dadurch theoretisch für eine gewisse Zeit das Einstapeln von deutlich untersättigten Lösungen zulässig wäre, die dann bereits auf das Pfeilergestein wirken könnten. Die Antragstellerin sieht vor ([4-2] und Kapitel 7 in [6]), Perioden des Einstapelns von untersättigten Lösungen durch Beigabe gewisser Mengen einer höher gesättigten 33%igen $MgCl_2$-Lösung zu kompensieren. Ohne eingehendere Beschäftigung mit der genauen Zusammensetzung der 33%igen $MgCl_2$-Lösung (in [4-2] typische Zusammensetzung und Schwankungsbreite bei mittlerer Lösungstemperatur von 24°C) und der theoretischen und technischen Kapazität dieser Lösungen, Sättigungsdefizite effektiv auszugleichen, kann von den Gutachtern nicht bewertet werden, ob ein solcher Ausgleich geeignet ist, zusätzliche schadensrelevante Einwirkungen in jeder Situation zu verhindern.

Es muss sichergestellt sein, dass aus der Stapellösung auf ihrem Transportweg bis zum Eintritt in den Stapel keine Magnesium-Phasen wie beispielsweise Carnallit, Kainit oder Leonit ausfallen und abgeschieden werden, da dies eine größere Carnallit-Untersättigung zur Folge haben könnte. Nach Auffassung der Gutachter sind die erforderlichen Sättigungszustände der Stapellösung für die Flüssigphase der Suspension ohne Berücksichtigung des Feststoffanteils nachzuweisen. Dies liegt darin begründet, dass nicht für alle prozesstechnisch möglichen Gegebenheiten gewährleistet werden kann, dass im Stapel eine Rückverlösung der festen Salzfracht immer ausreichend schnell und vollständig erfolgen kann und diese somit in jedem Fall zur Sättigung beiträgt. Es ist vielmehr nicht völlig ausgeschlossen, dass die feste Phase im Stapel sedimentiert und die Lösung darüber nicht die erforderliche Sättigung aufweist. Ein Nachweis für die Sättigungszustände der Flüssigphase der Stapellösung erfordert die Gewinnung von Filtrat-Proben bei 20°C.

Formal ist auch eine vollständige Sättigung der Stapellösung gegenüber Halit und Sylvin Bedingung für die Machbarkeit des zugrundeliegenden Szenarios, wenngleich dies für die Prozesslösungen überwiegend gegeben sein dürfte. Anhand der Bestimmung des Magnesium-Gehaltes allein, eventuell auch durch zusätzliche Messungen der Suspensionsdichte ergänzt, kann eine Sättigung der Flüssigphase der Stapellösung gegenüber zumindest den wesentlichen gesteinsbildenden Mineralen im Salzgebirge nicht in jedem Fall sicher gewährleistet werden. Deshalb halten die Gutachter die Ermittlung, Auswertung, genaue Beobachtung und gegebenenfalls Anpassung weiterer Parameter der Stapellösung (Konzentration von Na, K, Mg, Ca, SO_4, Cl im Filtrat, Sättigungszustände der Filtrate, Dichte, Temperatur) für erforderlich.

Insbesondere angesichts der bekanntermaßen großen Temperatursensitivität des Lösungssystems haben die Gutachter Bedenken, dass bei der technischen Umsetzung des Einstapelns stets sichergestellt werden kann, dass die Flüssigphase im Stapel dauerhaft mindestens eine 98%ige Sättigung bezüglich des Minerals Carnallit aufweist (bei 20°C bzw. unter den Bedingungen der primären Gebirgstemperatur). Kann dies nicht gewährleistet werden, ist die im Abschnitt 3.4 formulierte Voraussetzung (2) nicht erfüllt.

Um einer Verlösung des Pfeilergesteins im schadenswirksamen Ausmaß vorzubeugen, darf sich die Zusammensetzung der Lösung im Stapel nicht verändern. Es muss ausgeschlossen werden, dass es zu einem Zutritt von anderen Fluiden (z.B. untersättigte Lösungen aus Salzlösungsvorkommen oder Spülwasser) oder zu Wechselwirkungen der Stapellösung mit anderen Fluiden kommen kann. Dass dies ausgeschlossen werden kann, ist nach dem Verständnis der Gutachter nicht vollumfänglich belegt.

Die Betrachtung einer direkten Einwirkung des Salzlösungvorkommens am Querort 23 und der mit diesem in Verbindung stehenden Lösungshaltung auf den Stapelraum und den maßgeblichen Abschnitt des MSSPF ist durch die räumliche Abgrenzung des Prüfgegenstandes (vgl. Abschnitt 3.2) nicht erforderlich. Hierzu ist jedoch zu bemerken, dass bei konvergenzbedingtem Auspressen der Stapellösung bis auf das Niveau -100 m NN zumindest eine räumliche Nähe zum Salzlösungvorkommen am Querort 23 bzw. zu der assoziierten natürlichen Kaverne („lösungserfüllter, klüftig poröser Bereich unbekannter Ausdehnung um Kavernenhohlraum vorhanden“, vgl. [6-2-1], S. 89) gegeben sein wird. Zwischen -140 und -100 m NN liegen Bohrorte, Bohrungen und andere Einrichtungen zur Lösungshaltung. Auf die technische Machbarkeit einer Verlegung dieser Infrastruktur bei erwartbar fortschreitendem Anstieg des Lösungsspiegels wird in den Antragsunterlagen nicht eingegangen. Nach Auffassung der Gutachter wird kein Nachweis geführt, dass auszuschließen ist, dass insbesondere während der konvergenzinduzierten Verdrängung Lösungen aus dem Bereich von Querort 23 in den Stapelraum übertreten, die möglicherweise nicht vollständig an NaCl gesättigt und sehr wahrscheinlich beispielsweise gegenüber Carnallit deutlich untersättigt sind. Es ist anzunehmen, dass die übertretenden Lösungen aufgrund ihrer geringeren Dichte die Stapellösung überschichten werden, was lokal eine tiefreichende Auflösung des Pfeilergesteins zur Folge haben könnte.

Teile der für das Einstapeln vorgesehenen technischen Einrichtungen unter Tage im Grubenfeld Wintershall liegen geodätisch unterhalb von -140 m NN (z.B. Entleerungsbecken auf -295 m NN und -183 m NN, vgl. [6-2-16]). Bei fortschreitendem Einstapeln und dem damit verbundenem Anstieg des Lösungsspiegels im SW-Feld Springen wird der Stapel – gemäß dem Prinzip kommunizierender Röhren – zunehmend hydraulischen Druck auf die genannten tieferliegenden Anlagenteile aufbringen können. Nach Erreichen des Niveaus bei -140 m NN wird durch die auflaufende Konvergenz und resultierende Volumenverdrängung der Druck weiterhin sehr langsam ansteigen. Es muss für diese Situationen mit technischen Maßnahmen Sorge getragen werden, dass dabei kein Rückfluss aus dem Stapel im SW-Feld Springen in das Feld Wintershall einsetzen kann.

3.5.3 Beschreibung des Grubengebäudes und der geologischen Verhältnisse

Für die Bewertung des Vorhabens im Allgemeinen und der Funktion des MSSPF als maßgebliche Barriere zwischen den Baufeldern im Besonderen muss eine räumlich möglichst vollständig abdeckende Beschreibung der vorgefundenen und interpretierten geometrischen und geologischen Gegebenheiten mindestens für die folgenden Aspekte gegeben sein:

- geringste Abmessung des MSSPF bzw. geringste Entfernung der Grubenbaue beiderseits der Markscheide zueinander
- Lagerungsverhältnisse und Schichteinfallen
- räumliche Verbreitung der Flözfazien mit Angaben zu Mineralparagenesen sowie Gefügemerkmalen und Zonierungen für beide Kalilager (Kaliflöz Hessen und Kaliflöz Thüringen)

- Dichte, Geometrie, Häufigkeit, Verfüllungszustand und potentiell hydraulische Wirksamkeit bruchtektonischer Elemente sowie deren laterale Ausdehnung
- räumliche Nähe zu und damit mögliche Beeinflussung durch zusitzende untermineralisierte Wässer, die die Zusammensetzung der Lösung im Stapel verändern können
- Hinweise auf aktive Subrosion bzw. auf Vertaubungsprozesse

Im Zusammengang mit dem Vorhaben ist die Dimensionierung und Beschaffenheit des MSSPF vorrangig im Teufenbereich zwischen -310 m NN (Grubentiefstes im SW-Feld Springen) und -100 m NN (höchster Lösungsspiegel bei konvergenzbedingter Verdrängung) und insbesondere auf den Niveaus der 1. und 2. Sohle maßgeblich. Die Darstellungen zur Dimensionierung des MSSPF in den Antragsunterlagen sind nicht völlig widerspruchsfrei. Gemäß den Angaben im GTB ([6], S. 37 und S. 94) ist der MSSPF "mindestens" 150 m breit, während eine "eingehendere Prüfung" der „kürzesten anzutreffenden Distanzen bei Berücksichtigung von Höhendifferenzen zwischen den Grubengebäuden“ ([8], Abschnitt 3.1.2, S.18 ff) zu dem Schluss kommt, dass dieser Wert mit 142 m (nach [8] „etwa 50 m außerhalb des zu betrachtenden Abschnittes“ des MSSPF) bzw. 147 m lokal unterschritten wird. Die Richtigkeit dieser Angaben zu den minimalen Abständen zwischen den Grubenbauen auf thüringischer und hessischer Seite muss hier unterstellt werden, da die beigegebenen risswerklichen Darstellungen keine verlässliche Prüfung durch eine direkte Abstandsmessung im Raum erlauben.

Im Süden des Betrachtungsraums verritzten zwei Bohrungen („Ablenker“) den MSSPF, die von der 1. Sohle des SW-Feldes Springen gestoßen wurden (z.B. [6-1-2], Anlage 2_1-1 zum GTB). Eine von beiden durchörtert die Markscheide, wobei ihr Endpunkt auf hessischer Seite bei -255,4 m NN im Niveau der 1. Abbausohle bzw. im "Vertragsgebiet Großer und Kleiner Kiel" (Sohlenhöhe bei -258,8 m NN) liegt. Es ergibt sich ein horizontaler Abstand von ungefähr 105 m. Es liegen keine weiteren Angaben zum Querschnitt oder zum aktuellen Status der Bohrungen (Verfüllung, Art der Verfüllung) vor. Es könnte an dieser Lokation punktuell eine deutliche Unterschreitung der erforderlichen Pfeilermächtigkeit vorliegen.

Die Teufenlagen der jeweiligen Basis der beiden Kaliflöze sind in Isobathen-Karten dargestellt ([6-1-4], [6-1-5], Anlagen 4 und 5 zum GTB). In den beiden Faziesrissen für das Kaliflöz Hessen und das Kaliflöz Thüringen ist jeweils eine Interpretation der flächenhaften Verteilung der unterschiedlichen faziellen Ausbildungen der beiden Flöze im MSSPF abgebildet ([6-1-13], [6-1-14], Anlagen 13 und 14 zum GTB). Kartendarstellungen zu Flözmächtigkeiten und Abbauhöhen wurden nicht vorgelegt. Die Tabellen 1 und 3 in [5-1] lassen erkennen, dass Flözmächtigkeiten und Abbauhöhen im SW-Feld Springen und im Grubenfeld Wintershall teils deutliche Schwankungen aufweisen. Auch für die Stoßflächen beiderseits des MSSPF ist nicht zu erkennen, in welchen Bereichen welche feinstratigraphischen Zonen der Flöze und gegebenenfalls Begleitflöze sowie Steinsalzpartien tatsächlich anteilig oder vollständig abgebaut wurden bzw. aufgeschlossen sind.

Für die beiden Abbausohlen liegen keine Darstellungen vor, die in der Fläche die Geometrie der Grubenbaue im SW-Feld Springen im Hinblick auf die geodätische Teufenlage der Firsten abbilden. Daher ist es nicht möglich, anhand der Dokumentation lokale Hochpunkte zu identifizieren oder auszuschließen, wo bei steigendem Lösungsspiegel im Stapel möglicherweise Luft eingeschlossen werden wird. Mögliche Dimensionen und Folgen derartiger Lufteinschlüsse (z.B. Schutz von Carnallitit vor Lösungsangriff, Umsteigen der Luft infolge von Auflösungen im Bereich von Übertrittspunkten, "Spill Points") finden keine Erwähnung in den Antragsunterlagen.

Die Abbaue des SW-Feldes Springen und des angrenzenden Feldes Wintershall folgen übergeordnet dem Einfallen der beiden Lager Kaliflöz Hessen und Kaliflöz Thüringen. Die Gutachter teilen die in [8] (Abschnitt 3.1.2, S. 19) formulierte Auffassung, dass die Lagerungsverhältnisse der Flözlager maßgeblich sind für die Ermittlung von Abständen zwischen den Grubenbauen beiderseits der Markscheide sowie für die Bewertung von dichtegetriebenen Bewegungen im Stapel und seiner räumlich-zeitlichen Entwicklung im Verlauf des Einstapelns (vgl. auch Abschnitt 3.5.4).

Während das Kaliflöz Hessen im Südwestfeld Springen offenbar gleichmäßig flach gelagert ist, wird die Lagerung des Kaliflözes Thüringen als „ungleichmäßig wellig mit lokalen Mulden und Schwellen" beschrieben (Tabelle 1 in Anlage 6 zu [6-2-5]). Mit einer gewissen Streuung bzw. Unschärfe bezüglich der mitgeteilten Einfallwinkel und -richtungen wird ein generelles Einfallen der Lagerstätte „mit ca. 2° bis 3° vom Thüringer Wald nach Südwesten" (z.B. [6-2-1], S. 70) oder von „durchschnittlich 3° bis 4° nach SSW." (z.B. [8], S.18) genannt. Für den Bereich des MSSPF wird in [8] (S. 19) beschrieben, dass „entlang des MSPSW (…) in beiden Flözen zwischen den unmittelbar benachbarten Grubenfeldern Springen und Wintershall überwiegend söhlige Verhältnisse" vorherrschen. Dazu wird in Fußnote 4 ergänzt: „Während die Kaliflöze generell in Richtung SW einfallen, herrschen in NW-SE- bis W-E-Richtung zwischen den Grubenbauen der Grubenfelder Springen und Wintershall auf beiden Sohlen überwiegend söhlige Verhältnisse vor. Vereinzelt sind die Kaliflöze im Bereich des MSPSW in leichtem Einfallen vom Grubenfeld Springen in Richtung des Grubenfeldes Wintershall hin ausgebildet." Es ist hervorzuheben, dass diese Aussagen nicht ausschließen, dass lokal auch ein Schichteneinfallen in Richtung SW-Feld Springen vorliegen kann (vgl. z.B. im Bereich um Feldeseckpunkt 147 in [6-1-4]).

Ungeachtet lokal möglichweise abweichender – und gegebenenfalls ungünstiger – Lagerungsverhältnisse trifft die Antragstellerin die generalisierte Einschätzung „das Südwestfeld (…) weist aufgrund der Lagerungsverhältnisse der Kaliflöze günstige Einfallensverhältnisse auf, die feldwärts gerichtet sind" ([6], Kapitel 2.2.1, S. 34; im Wortlaut ähnlich in Kapitel 5.1.2.2, S.75).

Die Darstellung der geologischen Säulenprofile für den Aufbau der Flözlager in ihren verschiedenen Faziesausprägungen ist inkonsistent, sodass es nahezu unmöglich ist, die stratigraphischen, mineralogischen und gefügekundlichen Charakteristika im Überblick zu erfassen und dabei zugleich zu erkennen, welche der Merkmale die Antragstellerin als wichtig für die Betrachtung der Auswirkungen des Einstapelns hervorzuheben beabsichtigt. So wird der Aufbau der Flözlager abwechselnd bzw. parallel in überwiegend drei Varianten dargestellt, nämlich als mutmaßlich nicht maßstäbliche schematische Lithosäulen ("Ausbildungstypen") nach ZEIBIG et. al. (1989) (z.B. Abb. 19 und 22 in [6]), als nicht maßstäbliche "generalisierte Profile mit gewogenen Angaben zur Mächtigkeit und den Wertstoffgehalten" (z.B. Abb. 21und 24 in [6]) oder als Lithosäulen (überwiegend als "feinstratigraphische Aufnahmen" bezeichnet, teils mit Mächtigkeitsangaben) aus PIPPIG (1992), bei denen es weitgehend unklar bleibt, ob es sich um generalisierte Darstellungen oder ortskonkrete Aufnahmen handelt (Abb. 5 bis 9 in [6-2-1]). In [6-2-5] und [6-2-6] kommen mit Profilen aus der Literatur (JAHNE et al., 1970; OETTEL & VOITEL, 1966; ROTH & MESSER, 1981) noch weitere Darstellungsarten hinzu.

Der letzte Stand zur geologischen Dokumentation ist in den Antragsunterlagen mit dem Dokument [7-1] abgebildet. Es ist festzustellen, dass die Stöße im zu betrachtenden Abschnitt des MSSPF weder auf der Seite Springen noch auf der Seite Wintershall vollständig geologisch aufgenommen sind. Eine vollständige Befahrung und Aufnahme ist laut Darstellung der Antragstellerin aus Gründen des eingeschränkten Zugangs bzw. aus Sicherheitsgründen (z.B. im Bereich der UTVn) heute nicht mehr möglich. Die Ergebnisse der durchgeführten Befahrungen (vgl. [6-2-2], [6-2-3]), der punktuellen feinstratigraphischen Aufnahmen (mit Schlitzbeprobungen und Neuaufnahme der Zonen der Kaliflöze sowie des tektonischen Inventars nebst Gas- und Salzlösungsvorkommen), und der Radarmessungen (vgl. [6-2-6], [7-1]) sollen die Richtigkeit der historischen Dokumentation und der aus diesen abgeleiteten Annahmen bestätigen und die geologische Datengrundlage ergänzen. Mit der Vorlage der Ergebnisse wird jedoch nicht zugleich dargestellt, ob und wieweit diese für den Stapelbereich und insbesondere für den zu betrachtenden Abschnitt des MSSPF als repräsentativ angenommen werden können. Es gibt Hinweise darauf, dass Sylvinit ([7-1], S. 4), Vertaubungszonen ([7-1], S. 44) und im Kaliflöz Hessen Carnallitit ([7-1], S. 60-61) bei den ergänzenden geologischen Untersuchungen unterrepräsentiert berücksichtigt wurden. Auch bleibt unklar, welche Bedeutung die Antragstellerin den nur bereichsweise hereingewonnenen Begleitflözen für die Datengrundlage beimisst.

Nach welchen Kriterien die Lokationen für die ergänzenden Untersuchungen ausgewählt wurden wird nicht hinreichend nachvollziehbar dargestellt. Bereits nach einer ersten stichprobenartigen Prüfung wurde

festgestellt ([6-2-6], S. 23), dass an zwei von zehn Aufschlüssen (beide im SW-Feld Springen) die beobachteten Profiltypen nicht mit dem Risswerk übereinstimmten. Nach der Darstellung in [7-1] wurden im SW-Feld Springen zuletzt auf der 1. Sohle (Kaliflöz Hessen) 60 und auf der 2. Sohle (Kaliflöz Thüringen) 56 Lokationen untersucht. Von diesen 116 Lokationen liegen nur insgesamt 61 am Baufeldrand bzw. am MSSPF (33 auf der 1. Sohle, 28 auf der 2. Sohle). Diese Lokationen sind nicht gleichmäßig entlang des MSSPF verteilt (vgl. Anlagen 0-1 und 0-2 zu [7-1]), sondern konzentrieren sich auf der 1. Sohle auf drei, auf der 2. Sohle auf vier einzelne Abschnitte, sodass auf beiden Sohlen – geschätzt – jeweils höchstens die Hälfte der Länge des relevanten Abschnitts des MSSPF durch Profilaufnahmen repräsentiert ist. In der Gegenüberstellung der Ergebnisse der ergänzenden Bemusterung an diesen 116 Lokationen mit den generalisierten Profilen für die Flözausbildungen wie sie in [6-2-1] dargestellt sind (vgl. Anlage 28 zu [7-1]), lassen sich in den Mächtigkeiten und mittleren Wertstoffgehalten teilweise deutliche Unterschiede erkennen. So gelingt nach Auffassung der Gutachter mit den mitgeteilten Ergebnissen nicht in jedem Fall der abschließende Nachweis, dass die historische Dokumentation richtig und für die Verhältnisse am MSSPF räumlich abdeckend zutreffend ist.

Nach der Auffassung der Gutachter sind für die Betrachtung der Löseeffekte vorrangig nachvollziehbar repräsentative und in Bezug auf den Gehalt an relevanten Mineralphasen wie beispielsweise Carnallit, Sylvin und Kieserit extreme (vor allem maximale) Gesteinszusammensetzungen von Interesse. Die Darstellung von mittleren Wertstoffgehalte K_2O, $MgCl_2$ und $MgSO_4$ in den generalisierten Profilen ist für die Beantwortung relevanter Fragestellungen zum Ablauf der Verlösung (vgl. Abschnitt 3.5.4) ohne Wert, da diese keine Informationen darüber liefern, welche Mineralphasen mit welchen Anteilen im Gestein vertreten sind. In tabellarischen Abbildungen in [7-1] sowie in Anlage 28 zu [7-1] werden Minima, Maxima, Mittel, gewichtete Mittel (bzw. Mittelwerte) sowie teilweise Standardabweichungen für Mächtigkeiten und für die am Aufbau der Flöze beteiligten Minerale für die verschiedenen Zonen und Begleitflöze sowie zusammenfassend für die gesamte Flözausbildung angegeben. Wie und aus welchem Grund gewichtet wurde, wird dabei nicht angegeben. Auch diese Darstellungen sind kaum verwendbar, da Mittelwerte für die Gehalte der einzelnen Mineralphasen in der Regel in ihrer Summe die wahre Gesteinszusammensetzung nicht repräsentativ abbilden können. Tatsächliche mineralogische Gesteinszusammensetzungen sind lediglich für die einzelnen Zonen der Kaliflöze an den Bemusterungspunkten (Anlage 26 zu [7-1]) angegeben. Auch im Zuge der jüngsten geologischen Untersuchungen und der zugehörigen Ergebnisdarstellung in [7-1] wurden die mineralogischen Zusammensetzungen von Gesteinen mit den höchsten oder besonders hohen Gehalten an einzelnen, für die Bewertung des Lösegeschehens bedeutsamen Mineralphasen wie beispielsweise Kieserit, Sylvin und Carnallit (oder auch die maximale Summe von Kieserit- und Sylvin-Gehalt) nicht erfasst und nicht weiter betrachtet.

Ob und inwieweit die ergänzenden und in Details auch von zuvor getroffenen Annahmen abweichenden Ergebnisse der in [7-1] dokumentierten Untersuchungen zuletzt noch Berücksichtigung in den Betrachtungen zum Lösegeschehen und zum gebirgsmechanischen Verhalten der teilverlösten Pfeiler gefunden haben, ist nicht zu erkennen.

Zur flächenhaften Ausdehnung der verschiedenen Flözausbildungen und ihrer räumlichen Verteilung im Grubengebäude geben die Faziesrisse für die beiden Abbausohlen ([6-1-13], [6-1-14]) eine gute Übersicht. Dort sind im SW-Feld Springen und die in einem Streifen von 500 m Breite entlang der Markscheide im Grubenfeld Wintershall aufgenommenen und in den MSSPF hinein zwischen den Aufschlüssen interpolierten bzw. interpretierten Fazien dargestellt. In beiden Rissen ist auch eine Fazies „Sylvinit über Carnallitit über Hartsalz“ dargestellt (wenngleich in [6-1-13] nicht in der Legende geführt), die nicht in den Antragsunterlagen beschrieben und in Bezug auf das Lösegeschehen dort auch nicht weiter betrachtet wird.

Eine langbeinitische Flözausbildung ist laut der Legenden der beiden Fazierisse [6-1-13] und [6-1-14] nicht zu erwarten. Langbeinitisches Hartsalz liegt aber zumindest bereichsweise auf der 2. Sohle im Grubenfeld

Wintershall im nördlichsten Teil des zu betrachtenden Abschnitts des MSSPF vor (in [6-1-14] mit brauner Schraffur gekennzeichnet), wie der Faziesriss [6-2-6-4] (Anlage zum Anhang 6 zum GTB) erkennen lässt.

Der Anlage 26 zu [7-1] ist zu entnehmen, dass bei der punktuellen geologischen Neuaufnahme an einigen Lokationen am MSSPF im SW-Feld Springen lokal teils deutliche Langbeinit-Gehalte festgestellt wurden (z.B. bis 45% in Zone 2 des Hartsalzes an Lokation H52, dort etwa 9% des gesamten Kaliflözes). Dies ist insofern hervorzuheben, als auch im Grubenfeld Wintershall im nördlichen Teil des zu betrachtenden Abschnitts des MSSPF Langbeinit-führende Salze dokumentiert sind (s.o.) und nachzuweisen wäre, dass nicht durch den MSSPF hindurch ein Zusammenhang mit den im SW-Feld Springen festgestellten Langbeinit-Gehalten besteht. Ab welchem Langbeinit-Gehalt die entsprechenden Vorkommen auch als langbeinitisches Hartsalz kartiert sind, ist den Antragsunterlagen indes nicht zu entnehmen. Das Vorkommen von Langbeinit kann insofern von Bedeutung sein, da zum einen die Langbeinitisierung auf Vertaubungsprozesse hinweist, zum anderen Langbeinit löslich ist und bei Feuchte mit Mineral-umwandlungen und Aufquellen reagiert, was mit Gefügeauflockerung bzw. -zersetzung einhergehen kann (vgl. Abschnitt 3.5.4).

Aus dem zuvor gesagten wird deutlich, dass die risslichen Darstellungen zur Flözausbildung zwar die flächenhafte Verbreitung generalisierter Faziestypen darstellen, nicht aber Auftreten und Verbreitung solcher untergeordneter Mineralphasen dokumentieren und gegebenenfalls über den MSSPF hinweg interpretieren, die Hinweise beispielweise auf Alterationsprozesse (Auslaugung, Vertaubung, Langbeinitisierung, Kontaktmetasomatose, Fluidimprägnation) geben können. Generell muss festgehalten werden, dass die Ergebnisse der jüngsten punktuellen geologischen Neuaufnahmen (wie in [7-1] dokumentiert) in den Faziesrissen mutmaßlich nicht abgebildet sind bzw. diese nicht dahingehend überarbeitet wurden. Schließlich ist weiterhin die Frage zu stellen, inwieweit die – zum Teil von älteren Darstellungen abweichenden – Ergebnisse der punktuellen geologischen Neuaufnahmen tatsächlich geeignet sind, die Richtigkeit und Belastbarkeit der bestehenden Interpretation der Verteilung der Flözfazien am und in den MSSPF hinein zu belegen.

Die Faziesrisse weisen nach Auffassung der Gutachter den generellen methodischen Mangel auf, dass die hinreichend gut mit Daten belegten Bereiche nicht von Bereichen unterschieden sind, in denen die dargestellte Verteilung der Flözfazien allein auf Interpretationen beruht. Die Darstellung für den unverritzten MSSPF dürfte weitgehend eine Interpretation sein, sofern nicht weitere, nicht näher benannte Erkundungsergebnisse zusätzlich berücksichtigt wurden. Es ist nicht überall erkennbar, warum Flözfazien in ihrer Verbreitung nicht über den MSSPF hinweg korreliert wurden oder in den Rissen einzelne Fazien stellenweise direkt hinter dem Baufeldrand oder nahe der Markscheide begrenzt sind. Welche Methodik der Interpolation zwischen den Grubenbauen bzw. der Extrapolation in dem MSSPF hinein zugrunde gelegt wurde, ist in den Antragsunterlagen nicht dargestellt.

Bruchtektonische Elemente sind für das Vorhaben in zweierlei Hinsicht von Bedeutung. Zum einen können solche – sofern es sich um offene, mit löslichen Mineralen verfüllte oder unter den Druckverhältnissen des Einstapelns geöffnete Rupturen handelt – potentielle hydraulische Wegsamkeiten darstellen, entlang derer ein akzeleriertes Eindringen der Lösung in das Pfeilergestein unter Umständen möglich wäre. Zum anderen könnten bruchtektonische Elemente potentiell den Stapel im SW-Feld Springen an Fluide aus dem Liegenden oder dem Neben- und Deckgebirge anschließen. Eine Voraussetzung für das Vorhaben ist, dass Fluid-Wechselwirkungen über solche Verbindungen ausgeschlossen sind (vgl. Abschnitt 3.5.2).

Um beides bewerten zu können, müssen die Dimension, Geometrie und Lage der bruchtektonischen Elemente insbesondere im MSSPF untersucht und dargestellt werden. Für die bruchtektonischen Elemente im Salinargestein muss darüber hinaus betrachtet werden, inwieweit den Rupturen Fluide aufsitzen bzw. müssen ihre hydraulische Leitfähigkeit und Aufreißfestigkeit, soweit möglich, getestet werden. Entsprechende von der Antragstellerin durchgeführte Untersuchungen sind nach Auffassung der Gutachter grundsätzlich sinnvoll und zielführend, die daraus abgeleiteten generalisierenden Aussagen aber nicht in jeder Hinsicht nachvollziehbar.

Das Inventar der bruchtektonischen Elemente wird mit der Darstellung in Kapitel 4 in [6-2-6] umfassend und nachvollziehbar beschrieben. Ein Ergebnis der Arbeiten ist die Feststellung, dass mit der punktuellen Nachkartierung an 23 überwiegend im Feld Wintershall gelegenen Lokationen (die Kriterien für deren Auswahl werden nicht mitgeteilt) "etwa 25 % bis 40 % mehr Rupturen angetroffen [wurden], als bisher im Risswerk dokumentiert sind" ([6-2-6], S. 30). Nachfolgend wurden im Zuge der ergänzenden geologischen Untersuchungen weitere 17 Schnittlineamente (vermutlich an den 116 Bemusterungspunkten) neu kartiert ([7-1], S. 65 ff.). Auch wenn zu berücksichtigen ist, dass Rupturen direkt im Anschluss an die Auffahrung weniger gut zu erkennen sind, lässt sich offenbar eine Vollständigkeit der historischen Dokumentation nicht belegen.

In Anlage 6 zu [6-2-5] ist zusammengefasst, dass bruchtektonische Elemente im SW-Feld Springen auf beiden Sohlen lediglich vereinzelt in Form von Schnitten auftreten, „die hauptsächlich W-E, WNW-ESE, seltener NNE-SSW orientiert sind, und oft nur über wenige Meter streichende Länge verfolgt werden können" Und weiterhin: "Einige Schnitte sind über Längen zwischen 100 m und 220 m dokumentiert“. In den Anlagen 0-1 und 0-2 zu [7-1] sind alle bisher bekannten Schnitte auf der 1. und 2. Sohle erfasst. Nirgendwo entlang dem zu betrachtenden Abschnitt des MSSPF scheint es aus den Befahrungen und Untertagekartierungen sowie den Ergebnissen der Streckenradarmessungen Hinweise auf Rupturen zu geben, die den MSSPF queren.

Im GTB ([6], S. 32) wird festgehalten, „dass diese Erscheinungen der Bruchdeformation grundsätzlich geschlossen, d. h. verheilt sind“ und dass die „untertage kartierten Schnitte jedoch stark absetzig und häufig aufgefiedert ausgebildet“ sind. In [6-2-1] (S. 69) wird angeführt, dass geöffnete Rupturflächen im Grubenfeld Springen nach PIPPIG (1992) nicht auftreten. „Der Großteil der Schnitte (ca. 95%)" sei „mit Salzmineralen verheilt, ebenso die bis cm-breiten Schlechten, die ebenfalls mit Salzmineralen, seltener auch mit Ton verheilt sind.“ Im Umkehrschluss wäre anzunehmen, dass ca. 5% der Schnitte entweder unverheilte offene Trennflächen darstellen oder anstatt mit Salzmineralen mit Ton verheilt sind. In [7-1] ist zu lesen, dass die neu kartierten Schnitte „generell verschlossen (ohne Schnittfüllung) bzw. gefüllt“ angetroffen wurden. Dem Anhang 6 zum GTB ([6-2-6], S. 34) ist zu entnehmen, dass weniger als 1% der 1.836 aufgenommenen Rupturen „durchfeuchtet“ angetroffen wurden. Wo solche durchfeuchteten Rupturen angetroffenen wurden, wird nur für einen Fall angegeben. Insgesamt ist die Darstellung nicht geeignet, damit die mögliche hydraulische Wirksamkeit der Schnitte zu bewerten.

Eine Absetzigkeit und eine maximale zusammenhängende Länge von ca. 10 m der Rupturen wird auch durch die ergänzenden Untersuchungen bestätigt ([7-1], S. 67). Ferner wird postuliert ([7-1], S 69), dass der „weitere absätzige Verlauf der kartierten Schnitte in den MSSPF hinein“ „aufgrund der durchgeführten Streckenradarmessungen nachweisbar“ ist. Ob dieser Nachweis tatsächlich gelingt, können die Gutachter nicht nachvollziehen. Messfrequenzen und Messkonfiguration (z.B. Abstände zwischen Sende- und Empfängerpunkten) können nämlich einen erheblichen Einfluss auf die Abstände der Reflektorpunkte und somit darauf haben, inwieweit eine Absetzigkeit aus den Daten belastbar interpretiert werden kann. Diese relevanten Messgrößen werden aber nicht mitgeteilt. Darüber hinaus liegt es in der Messgeometrie begründet, dass reflektorgebende Strukturen im Salinar, wenn sie in einem spitzen Winkel oder annähernd rechtwinklig zur Messstrecke orientiert sind, wenn überhaupt in der Regel nur als einzelne Reflektorpunkte erfasst werden. Ein Hinweis darauf, dass Rupturen mit einer solchen Orientierung im MSSPF potentiell vorliegen, aber nicht mit einer Radarmessung erfasst werden können, fehlt.

Aus den in-situ Messungen zur Permeabilität und hydraulischen Aufreißfestigkeit von Schnitten wird gefolgert ([6], S. 144), dass anhand dieser belegt werden könne, „dass Gebirgsbereiche mit ausreichender Ausdehnung und Mächtigkeit geologische Barrieren sind und diese Barriereeigenschaften bei Beanspruchungen unterhalb der minimalen Hauptspannung erhalten bleiben“. In diesem Zusammenhang wird jedoch nur unvollständig mitgeteilt, in welchen Salzgesteinen sich die mit Bohrungen aufgeschlossenen und getesteten Schnitte befinden und inwieweit sich die Ergebnisse auf Schnitte in den Gesteinen des MSSPF übertragen lassen. Weiterhin ist hierzu anzumerken, dass sich in einem (B2S) der insgesamt vier getesteten Schnitte „trotz anhaltendem Einpressen von Fluidvolumen kein nennenswerter

Druck auf Dauer im Messraum aufbauen“ ließ und der Versuch letztlich abgebrochen wurde (vgl. [6-2-7]). Der „geforderte Fluiddruck“ für die Versuche entsprach einer „Lösungssäule zwischen Bohrort und Tagesoberfläche + 10% Sicherheitszuschlag“ (welches Medium für die Druckberechnung angenommen wird nicht mitgeteilt) und lag damit oberhalb des hier zu betrachtenden maximalen Fluiddrucks (Säule der Stapellösung zwischen ca. -310 m NN und -100 m NN). Ungeachtet dessen ist die Frage zu stellen, ob das Ergebnis, dass nur bei drei von vier getesteten Schnitten ein Druck aufgebaut werden konnte, als Beleg dafür gelten darf, dass die Schnitte im Allgemeinen nicht hydraulisch wirksam sein können.

Nach Auffassung der Gutachter gelingt es der Antragstellerin mit den vorgelegten Unterlagen nicht, nachvollziehbar und begründet auszuschließen, dass die Stapellösung im SW-Feld Springen über offene bzw. unter dem Fluiddruck des Stapels sich öffnende, mechanisch aktivierte oder mit gegenüber der Stapellösung löslichen Mineralen gefüllte Rupturen mit Fluiden aus dem Subsalinar oder dem Neben- und Deckgebirge in Verbindung treten kann.

Bruchtektonische Elemente werden in den textlichen und kartenmäßigen bzw. risslichen Darstellungen (v.a. [6-2-1] und Anlagen hierzu) sowohl im regionalgeologischen Kontext als auch ortskonkret für das SW-Feld Springen und die angrenzenden Grubenbaue im Feld Wintershall auf der anderen Seite des MSSPF behandelt. Inwieweit die Darstellung vollständig ist, kann nicht eingeschätzt werden. Auch fehlen Angaben zu grundlegenden Charakteristika von Störungen wie Versatzbeträge sowie Aussagen darüber, inwieweit die Störungen aus dem Subsalinar und aus dem Deckgebirge in das Salzlager bzw. in die Grubenfelder hineinreichen.

Räumliche und mögliche genetische Zusammenhänge der bruchtektonischen Elemente mit versiegten oder aktiven Salzlösungsvorkommen (insbesondere mit dem am Querort 23), mit mutmaßlich an vulkanitische Intrusionen geknüpfte Fluidverkommen und mit Subrosions- und Vertaubungserscheinungen (halitische Vertaubung oder Sylvinit-Umwandlung) werden angerissen, aber nicht hinreichend klar dargestellt. Insbesondere vermissen die Gutachter eine Zusammenführung der verschiedenen Beobachtungen zu einer gesamtheitlichen Betrachtung zu Bereichen mit möglicherweise reduziertem hydraulischem Widerstand.

3.5.4 Geochemische Grundlagen und Methoden, Verständnis der Verlöseprozesse

In den Antragsunterlagen werden die geochemischen Grundlagen und die bei der Auflösung von Hartsalz und Carnallitit ablaufende Prozesse größtenteils richtig dargestellt. Die Bedeutung des aus thermodynamischer Sicht theoretisch unendlichen "Kreisprozesses" bei der Auflösung von Hartsalz ist erkannt und dieser ist im Grundsatz berücksichtigt.

Zu bemängeln ist das Fehlen einer plausiblen Erklärung für die Verwendung einer thermodynamischen Datenbasis, welche weder ausreichend nachvollziehbar dargelegt wird, noch dem Stand der Technik zu entsprechen scheint. Darüber hinaus werden in den verschiedenen Dokumenten offenbar unterschiedliche thermodynamische Datengrundlagen und Rechenansätze verwendet. In den Darstellungen führt dies teilweise zu Diskrepanzen zwischen den vorgelegten Ergebnissen einiger grundlegender Berechnungen und Nachrechnungen auf Basis international geprüfter und anerkannter Datensätze. An einigen Stellen sind Eingangsparameter für die Rechnungen benannt und beziffert, aber nur vereinzelt deren Quelle angegeben. Auch dadurch ist es im Einzelnen schwer zu verfolgen, welche Daten tatsächlichen Messungen und Analysen entstammen, welche Parameter auf Annahmen beruhen oder welchen externen Quellen diese entnommen wurden.

Zur Darstellung der Auswirkungen der vergleichsweise schnell ablaufenden Carnallit-Auflösung ("1. Teilschritt", i.S. der Antragsunterlagen) wird ein stark vereinfachtes Modell für den flächenhaften Lösungsabtrag am Carnallitit vorgestellt. Für dieses Modell werden gemäß [7] eine generalisierte Systemgeometrie und eine generalisierte Pfeilergeometrie, ein sich aus diesen und einer exemplarischen Abbauhöhe von 3,65 m ergebendes begrenztes Lösungsvolumen, generalisierte Flözprofile und nicht im

einzelnen mitgeteilte Gleichgewichtsdaten verwendet. Eine wesentliche Schwäche dieses Modells scheint in der Begrenzung des wirksamen Lösungsvolumens zum Tragen zu kommen, wobei beispielsweise vernachlässigt zu sein scheint, dass in vielen Bereichen des vorgesehenen Stapels im SW-Feld kein Carnallitit in den Pfeilern ansteht, und sich das Lösegeschehen im 1. Teilschritt entsprechend auf den Carnallitit in anderen Bereichen konzentrieren wird. Aus der Darstellung ist nicht zu erkennen, ob das Modell auch diese Gegebenheit (z.B. durch die angesetzten exemplarischen Parameter) ausreichend berücksichtigt und inwieweit das Modell insgesamt und im Speziellen für den Carnallitit im MSSPF repräsentativ sein könnte. So können auch die abgeleitete „mögliche mittlere Verlösetiefe in der Carnallitit-Fazies“ ([6], S. 83) bzw. die „rechnerisch mittlere Verlösetiefe“ ([6], S. 86) von 0,63 m für das Kaliflöz Thüringen und etwa 0,56 m für das Kaliflöz Hessen in ihrer Bedeutung nicht eingeordnet werden. Ferner scheint der „Lösetiefe“ ([6], Abb. 30) allein der Anteil des aufgelösten Minerals Carnallit zugrunde zu liegen, wodurch das Volumen des von der Carnallit-Auflösung betroffenen Gesteins unterschätzt wird.

Nach Auffassung der Gutachter wird für die vom IBZ angestellten Versuche zur Ermittlung der Lösekinetik von Kieserit nicht ausreichend klar dargestellt, inwiefern diese tatsächlich das Lösegeschehen repräsentativ und auf die in-situ-Verhältnisse übertragbar abbilden. Die wesentlichen Gründe hierfür sind, dass nicht nachvollzogen werden kann, ob die verwendeten Proben und das angesetzte Verhältnis zwischen Gesteins- und Lösungsvolumen für die Situation untertage repräsentativ sind, des Weiteren die geringe Zahl von Versuchen, die Versuchsdauer von maximal 112 Tagen und nicht zuletzt die unzureichende Begründung für die Verwendung einer „eigenen“, nicht genauer dargelegten thermodynamischen Datenbasis bei der Versuchsauswertung. Hinzu kommt, dass Effekte, die aus der faziellen Ausbildungen und den Lagerungsverhältnissen der Flözlager sowie aus der Geometrie des Grubengebäudes resultieren, naturgemäß im Laborversuch nicht bzw. nur unzureichend abgebildet werden können.

Im Ergebnis kommen die Gutachter zu dem Schluss, dass nicht auszuschließen ist, dass die Lösungsfront gegebenenfalls und zumindest lokal tiefer in die Flözlager eindringen kann, als in den Antragsunterlagen dargestellt und dort den weiteren Betrachtungen zugrunde gelegt wird. Sie sind weiterhin auch der Auffassung, dass die Verlöseraten für einzelne Szenarien im zeitlichen Verlauf des Einstapelns bzw. für ortskonkrete Situationen im Stapel höher anzusetzen sind, als dies die Antragstellerin tut. Beides resultiert daraus, dass – wie oben skizziert – die Antragstellerin häufig gemittelte Werte und modellhaft vereinfachende Darstellungen sowie zum Teil auch auf den Betrachtungsraum nicht oder nur bedingt übertragbare Annahmen verwendet.

Im Zusammenhang mit der Ermittlung möglicher Verlösetiefen vermissen die Gutachter des Weiteren eindeutige ortskonkrete Bezüge. So werden für die Carnallit-Verlösung lediglich exemplarische Rechnungen mit exemplarischen Parametern vorgelegt (vgl. in [7]). Auch für die Betrachtung eines „möglichen Auflösefortschritts im Sylvin“ wird ein „exemplarischer Stoß“ berücksichtigt. In welchem Verhältnis exemplarische Betrachtungen zu realistisch zu erwartenden Auswirkungen des Einstapelns oder zu einer „ungünstigsten Situation“ stehen oder diese repräsentieren sollen, bleibt unklar.

Anders als von der Antragstellerin dargestellt sind die Gutachter der Auffassung, dass es ortskonkret bzw. für bestimmte Flözfazien und/oder Texturen beim Einstapeln im SW-Feld Springen zu Effekten kommen kann, welche größere Eindringtiefen und möglicherweise auch höhere Raten bedingen dürften. Hierzu zählen unter anderem und insbesondere die im Folgenden umrissenen.

Der mögliche Einfluss der Hydrodynamik im Stapel wird grundsätzlich unterschätzt. Zum einen werden Antriebsmechanismen wie Dichte- und Temperaturunterschiede sowie die während des Einstapelns von den Einleitpunkten ausgehenden Strömungsbewegungen insbesondere in Hinblick auf angenommene Kenngrößen (wie z.B. betrachtete Dichtedifferenzen, ungestörte Gebirgstemperatur; vgl. 3.5.2) bzw. auf das Zusammenwirken der Mechanismen nicht ausreichend nachvollziehbar berücksichtigt. Zum anderen wird unbelegt angenommen, dass diese Prozesse teilweise langsam und nur auf kleinräumige Konvektionsbereiche begrenzt ablaufen und somit pauschal mit bereits angesetzten Konservativitäten

abgedeckt sind. Die Richtigkeit dieser Annahmen sehen die Gutachter in den Antragunterlagen nicht ausreichend belegt.

Für die Verlösung im Carnallitit ("1. Teilreaktion" im Sinne der Antragsunterlagen) gilt:

- Zu erwarten ist die Ausbildung keilförmiger Lösungsschramen, die im oberen Abschnitt der Carnallitit-Schicht (und, wo aufgeschlossen, möglicherweise im carnallititischen Begleitflöz) tiefer ins Gebirge hineinreichen als im Mittel. Die Antragstellerin erwartet demgegenüber keine ausgeprägte Keilbildung, und begründet dies damit, dass die Löserate nahe an der Carnallit-Sättigung „sehr gering“ und die „Dichteunterschiede für den konvektiven Transport stark verringert“ seien ([7], S. 20). Im Sinne der Veröffentlichung von STEDING et al. (2021; [e]), müsste entsprechend ein transportdominiertes System (im Gegensatz zu einem reaktionsdominierten) und ein diffusionsdominiertes System (im Gegensatz zu einem advektionsdominierten) betrachtet werden. Die Antragsunterlagen beschränken sich auf die Behauptung, dass der Einfluss der Diffusion vernachlässigt werden kann. Ähnlich gehen auch die Gutachter zumindest für die frühe Phase der Carnallit-Auflösung davon aus, dass der Einfluss des Strömungstransportes (Advektion) größer sein wird, als der Einfluss von Diffusionsprozessen. In der Quelle [e] wird gezeigt, dass es in transport- und advektionsdominierten Systemen unter Umständen zu deutlich keilförmigen Geometrien kommen kann. Simulationen mit Einbindung eines geeigneten Modells zum reaktiven Stofftransport (vgl. [e]) sind Stand der Forschung, fehlen aber in den Antragsunterlagen.
- Lokal tiefere Verlösung ist zu erwarten, wenn im Zuge des Einstapelns ein größeres Lösungsvolumen erstmalig mit Carnallitit in Kontakt kommt und/oder aufgrund betrieblicher Stillstände der Lösungsspiegel über längere Zeit statisch bleibt, so dass lokal Carnallitit nur anteilig (im unteren Teil) im Kontakt mit der Stapellösung steht. In den Antragsunterlagen fehlt eine Planung, welche die vorgesehene technische Umsetzung des Einstapelns (z.B. segmentweises Abwerfen von Rohrabschnitten) und die dabei ablaufende zeitliche und räumliche Entwicklung des Stapels in ausreichendem Detail beschreibt.
- Nach dem Verständnis der Gutachter kann die Verlösung über die im Antrag betrachtete 1. Teilreaktion hinaus insbesondere entlang der Grenzen des Carnallitits zu Hartsalz im Liegenden und gegebenenfalls zu Sylvinit im Hangenden auch im Carnallitit weiter fortschreiten.

Für die Verlösung im Hartsalz ("2. Teilreaktion" im Sinne der Antragsunterlagen) ist festzuhalten:

- Die Gutachter teilen die Auffassung, dass im Wesentlichen die Auflösung des Kieserits die Geschwindigkeit der Auflösungsprozesse im Hartsalz bestimmen wird. Für die Ermittlung von maximalen Eindringtiefen in das Pfeilergestein reicht nach dem Verständnis der Gutachter aber die Betrachtung von mittleren Mächtigkeiten, durchschnittlichen Kieserit-Gehalten in den einzelnen Zonen der Kalilager nicht aus. Vielmehr sind größere Eindringtiefen für das Hartsalz insbesondere dort zu erwarten, wo neben den höchsten Kieserit-Gehalten, welche bei fortschreitender Kieserit-Auflösung in einer vernetzte Porenstruktur im Gestein resultieren werden, ebenfalls die höchsten Sylvin-Gehalte im Gestein vertreten sind.

Gemäß der zuletzt vorgelegten Darstellung von ERCOSPLAN ([8]) wird das „höchste Eindringpotential“ jetzt zwischen den durchgehenden Tonlagen in der Wurmsalzpartie (Zone 1) im Kaliflöz Hessen, entlang von Kieserit-Linien in verschiedenen Zonen beider Kaliflöze und entlang von kieseritischen Sylvinitbänken im Bereich des Hartsalzfußes (feinstratigraphische Zone 1) des Kaliflözes Thüringen erwartet. Die drei genannten Horizonte werden als die ungünstigsten Einheiten in der Feinstratigraphie der Kalilager berücksichtigt.

Die Gutachter halten indes ein Eindringen der Lösung in das Pfeilergestein über die von der Antragstellerin abgeleiteten Dimensionen hinaus an der Grenze vom Hartsalz zum überlagernden Carnallitit für wahrscheinlich. Dies dürfte im Besonderen dort der Fall sein, wo diese Fazies zusätzlich von Sylvinit überlagert wird (in Faziesrissen dargestellt, z.B. Anlage 14 zu [6], aber nicht näher beschrieben oder

betrachtet). Dies ist darin begründet, dass dort hohe Gehalte von Kieserit und Sylvin zur Verfügung stehen und die Reaktion aus thermodynamischer Sicht nicht zum Stillstand kommen kann.

In diesem Zusammenhang ist auch darauf hinzuweisen, dass Quantifizierungen von Stoffumsätzen in ihrer Qualität und Belastbarkeit aufgrund der bekannten Temperatursensitivität der thermodynamischen Gleichgewichtszustände stark von der Genauigkeit bzw. Richtigkeit der angenommenen in-situ-Temperatur abhängen (s. 3.5.2).

Die Betrachtungen zu Porositätsentwicklungen im Pfeilergestein unter Nutzung methodischer Anleihen aus der Reservoirmechanik und die durchgeführten Parameterstudien stellen an sich wertvolle und grundsätzlich zielführende Ansätze dar. Für die Modellbetrachtungen wurden allerdings hydraulische Leitfähigkeiten verwendet, welche geringer als die ermittelten maximalen hydraulischen Leitfähigkeiten sind ([5-1], Abschnitt 4.3.1, S. 44 ff.). Dies steht im Widerspruch zu einem konservativen Vorgehen.

Die Berücksichtigung weiterer ungünstiger, die Verlösung gegebenenfalls verstärkender Faktoren erscheint überwiegend plausibel, ist aber nicht immer ausreichend belegt und in der Summe wahrscheinlich nicht hinreichend konservativ. Die Gutachter können sich nicht der Einschätzung anschließen, dass die Ergebnisse der Messungen zur Permeabilität und hydraulischen Aufreißfestigkeit tatsächlich belegen, dass geschlossene Klüfte keine Transportwege darstellen können (kein Druckaufbau an einem von vier durchgeführten Tests). Ferner macht die Darstellung aufgrund fehlender Messparameter nicht nachvollziehbar, dass die Ergebnisse der Radarmessungen die Absetzigkeit von bruchtektonischen Elementen im MSSPF belegen. Dass es sich bei dem mittels Streckenradar festgestellten Lösungsvorkommen im MSSPF (Profil 210003, vgl. in [7-1]) um ein isoliertes Vorkommen intrasalinarer Lösungen handelt, welches nicht im Kontakt zum Liegenden oder Hangenden steht, ist nicht nachgewiesen. Belege dafür, dass es sich auch bei den in den Auffahrungen angetroffenen und heute versiegten Salzlösungsvorkommen stets um intrasalinare Lösungen gehandelt hat (z.B. Isotopenanalysen), sind nicht in den Unterlagen enthalten. Der Einfluss eines lokal wechselnden Schichteinfallens auf einen möglichen dichtegetriebenen Austausch der Lösung zwischen Lösungsfront und Stapel wird nicht ortskonkret betrachtet.

Von der Antragstellerin werden Gegebenheiten und Prozesse betrachtet, die das Fortschreiten der Lösungsfront in das Pfeilergestein hinein verlangsamen oder ganz zum Stillstand bringen können. Die Gutachter halten es für im Grundsatz nachvollziehbar und sinnvoll, diese in die Gesamtbetrachtung des Lösegeschehen einzubeziehen, wenngleich angemerkt werden muss, dass das mutmaßlich komplexe Wechselwirken dieser Prozesse, zumal vor dem Hintergrund der realen Situation im SW-Feld Springen, kaum in seiner Gesamtwirkung zu bewerten ist. Diese Gegebenheiten und Prozesse stehen v.a. im Zusammenhang mit den Gefügen der Flözgesteine, mit Mineralneubildungen und mit der Kompaktion des teilverlösten Pfeilergesteins:

(1) Gefügeausbildungen, die einzelne Mineralphasen von der Lösung isolieren oder zumindest den Zugang der Lösung einschränken sind auch nach Auffassung der Gutachter grundsätzlich zu erwarten, sind aber in den Antragsunterlagen nicht hinreichend mit Untersuchungen belegt und beschrieben.

(2) Mineralneubildungen sind nach Meinung der Gutachter ebenfalls zu erwarten, jedoch in ihrer räumlichen Beziehung zur Verlösung (Nah- oder Fernfeld der Lösefront) und in ihrer zeitlichen Dimension (z.B. temporäre metastabile Kainit-Übersättigung) nicht zu bestimmen. Die Gutachter teilen die Auffassung der Antragstellerin, dass die tatsächliche Wirksamkeit der Mineralneubildungen auf das Lösegeschehen letztlich nicht einzuschätzen ist.

(3) Die Bewertung der Darstellung der zu erwartenden Kompaktion des Löseresiduats und deren Wirkung auf die hydraulische Leitfähigkeit fällt in den Bereich der relevanten geomechanischen Prozesse und erfolgt entsprechend in Kapitel 3.5.5.

Keine Berücksichtigung findet insgesamt die mögliche gefügezersetzende Wirkung einer Hydratation (Wasseraufnahme) von Gesteinsbestandteilen wie Kieserit (und Langbeinit bzw. auch Ton) und der damit einhergehenden Volumenzunahme. Insbesondere die lokal hohen Anteile von Kieserit (bis zu 63% bzw. im Mittel 40%, z.B. Abb. 43 in [7-1]) machen nach Einschätzung der Gutachter eine genauere Betrachtung möglicher Folgen von Hydratationsprozessen erforderlich.

3.5.5 Geomechanische Modellrechnungen

Das Einstapeln konfektionierter Prozesswässer im SW-Feld Springen resultiert aus gebirgsmechanischer Sicht in einer als "Belastungshistorie" oder "Belastungsszenario" zu bezeichnenden Abfolge definierter Lastfälle. Diese werden in den Antragsunterlagen (vgl. [6], Abschnitte 6.5 und 6.6) wie folgt mit Modellrechnungen abgebildet:

(1) Einprägung des Primärspannungszustandes durch Berechnung der Gebirgsspannungen im Bereich des SW-Feldes Springen vor Auffahrung der Grubenbaue

(2) Simulation der Auffahrung des Grubenfeldes durch rechnerische Simulation eines artifiziell instantanen Hohlraumausbruchs mit Berechnung des elastischen Sekundärspannungszustandes in den Pfeilern sowie in den hangenden, liegenden und lateralen Gebirgsschichten

(3) Simulation des Tragverhaltens der unversetzten Grubenbaue des SW-Feldes Springen im Zeitraum zwischen der Auffahrung und dem Beginn des geplanten Einstapelns (elasto-viskoplastische Berechnung der kriechbedingten Deformationen und Spannungen in Raum und Zeit

(4) Simulation des Einstapelns von einem Gesamtvolumen Stapellösung von ca. 5,1 Mio. m^3 über einen Zeitraum von fünf Jahren bis zur Teufenlinie -140 m NN. Dabei wird der mit ansteigendem Solespiegel zunehmende Fluiddruck alternativ entweder berücksichtigt oder nicht. Die bei Kontakt der Stapellösung mit dem anstehenden Salzgestein einsetzenden Auflösungsprozesse werden zum einen rechnerisch idealisiert dargestellt durch eine Reduzierung der Festigkeit und eine Erhöhung der Kriechfähigkeit des Salzgesteins bei dilatanzbedingter Durchfeuchtung und zum anderen zeitparallel durch eine instantan initiale Carnallitit-Verlösung bis in eine Tiefe von 60 cm und Simulation einer mit 1cm/a quantifizierten Auflösung von Kieserit und Sylvin durch mechanische Idealisierung des Verlöseresiduats mit den Stoffeigenschaften eines feuchten Salzgruses

(5) Prognostische Simulation des Tragverhaltens in Raum und Zeit mit Berücksichtigung der unter (4) skizzierten Prozesse der Durchfeuchtung und Verlösung mit konvergenzbedingtem Anstieg des Solespiegels bis max. -100 m NN

Die durch den Kontakt der Stapellösung mit den im Betrachtungsraum anstehenden Salzgesteinen initiierte Verlösung ist in den Modellrechnungen durch eine instantan initiale Verlösung von Carnallitit bis in eine Tiefe von 60 cm und eine Verlöserate von 1 cm/a für Kieserit und 0,3 cm/a für Sylvinit charakterisiert ([6-2-10], S. 25). Die Verlösetiefe ist nach Auffassung der Gutachter, wie im Abschnitt 3.5.4 diskutiert, zu gering angesetzt, da z.B. zum einen reiner Carnallit und nicht das betroffene Carnallitit-Volumen berücksichtigt ist und zum anderen nicht von keilförmigen Lösungsschramen ausgegangen wird. Eine dichtegetriebene Konvektion im Stapel wird in den Raummodellen D-NW und D-SE ([6-2-10], Abschnitt 5.5) prognostisch-rechnerisch als zweifache Verlösung von Carnallitit berücksichtigt. Ob dieser Ansatz die potentiell nicht auszuschließende Konvektion hinreichend konservativ abzubildende vermag, ist nach Auffassung der Gutachter fraglich.

Im Rahmen der rechnerischen Prognosen zum Einfluss des Einstapelns konfektionierter Prozesswässer sind die Annahmen zur Intensität und Geschwindigkeit der Verlösung ausschlaggebend für das Tragverhalten des Grubenfeldes. Mechanisch wirkt die Verlösung wie ein fortschreitender Abbau, bei dem die

anstehende Pfeilersubstanz partiell ausgebrochen wird und die verbleibende Pfeilerquerschnittsfläche die aus dem Gewicht der überlagernden Deckgebirgsschichten resultierende Belastung abtragen muss.

An dieser Stelle wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die nachfolgenden geomechanischen Bewertungen sich im Wesentlichen auf die Annahmen der Antragstellerin zu Eindringtiefe und Verlöserate stützen. Mögliche Auswirkungen infolge höherer Eindringtiefen bzw. Verlöseraten wurden von der Antragstellerin nicht betrachtet und können von den Gutachtern demzufolge nicht bewertet werden.

Eine gegenüber den vorstehend genannten Annahmen intensivierte Verlösung wäre aber in der Konsequenz ungünstiger für das raum- und zeitbezogene Tragverhalten und hätte unmittelbare Auswirkungen auf die Konvergenzrate und auf die Möglichkeit einer dynamischen Aktivierung des Tragsystems (Gebirgsschlag).

Die von K+S vorgelegte methodische Vorgehensweise zur Einschätzung der gebirgsmechanischen Auswirkungen eines Einstapelns von konfektionierten Prozesswässern im SW-Feld Springen wird von den Gutachtern als plausibel, schlüssig, nachvollziehbar und dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechend bewertet. Nach Auffassung der Gutachter wurden zur Beurteilung der Auswirkungen des Einstapelns methodisch geeignete und durch eine Kalibrierung an den messtechnisch beobachteten Gebirgsbewegungen (Senkungen, Konvergenzen) hinreichend validierte Funktionsmodelle generiert.

Mit den aus gebirgsmechanischer Sicht als geeignet eingeschätzten Funktionsmodellen sind die möglichen Auswirkungen des Einstapelns konfektionierter Prozesswässer von K+S umfangreich und augenscheinlich auch hinreichend konservativ rechnerisch analysiert worden. Vorbehaltlich der Richtigkeit der zugrunde gelegten Eingangsparameter für die Verlösetiefen und -raten im Carnallitit, Kieserit und Sylvin ist die Analyse geeignet zu zeigen, dass die durch das Einstapeln konfektionierter Prozesswässer induzierten Auf- und Umlöseprozesse weder die Baufeldpfeiler des SW-Feldes Springen noch die vertikalen und lateralen Barrieren, zu denen insbesondere der MSSPF und die Baufeldgrenze zwischen den Grubenfeldern Springen und Merkers gehören, in einem standsicherheitlich relevanten Maße schwächen. Die bezüglich der Geschwindigkeit und Intensität in den numerischen Berechnungen berücksichtigte Auflösung des anstehenden Salzgesteins der Pfeilerstöße, des Hangenden und des Liegenden führt nachweislich der dokumentierten Berechnungsergebnisse lediglich zu einer temporären Beschleunigung der Konvergenzrate bzw. der Verformungsrate, die nach Abschluss der Auflösungsprozesse wieder das Niveau bei lufterfüllter Grube erreichen, nicht jedoch zu einem rupturellen Pfeiler- und/oder Schwebenversagen.

Wird in Ergänzung zu den im Abschnitt 3.5.4 skizzierten lösungskinetischen Prozessen berücksichtigt, dass die poröse Struktur des nach Verlösung der Flözlager verbleibenden Residuats eine gegenüber unverlöstem Salzgestein signifikant reduzierte Festigkeit bzw. Tragfähigkeit besitzt, dann kann geschlussfolgert werden, dass die auf die poröse Struktur einwirkenden Gebirgsspannungen in einer Kompaktion der Matrix resultieren, d.h. dass das lösungskinetisch generierte Porenvolumen durch die mechanischen Belastungen reduziert wird. Von K+S initiierte Laboruntersuchungen zum Kompaktionsverhalten der porösen Matrixstruktur (vgl. [6], Abschnitt 6.2.5; [6-2-12]) sollen zeigen, dass das Kompaktionsverhalten der porösen Matrix qualitativ dem von feuchtem Salzgrus entspricht. Bezüglich der Quantität wird gezeigt, dass die abhängig von der Kompaktion zunehmende Tragfähigkeit des verdichteten Matrixmaterials deutlich größer ist, als die von feuchtem Salzgrus. Die auf Grundlage dieser Versuche für die Matrix angenommenen mechanischen Eigenschaften halten die Gutachter für plausibel.

Weiterhin wurde das nach Auflösung des Kieserits geänderte Spannungs-Verzerrungs-Verhalten (Kompaktionsverhalten) des von der Lösung infiltrierten Salzgesteins in numerischen Berechnungen zum Trag- und Dichtigkeitsverhalten des SW-Feldes Springen berücksichtigt. Diese sind geeignet zu zeigen, dass, beginnend an der Kontur der Tragelemente (wo die mechanischen Beanspruchungen maximal sind), die für ein zeitlich unbegrenztes Fortschreiten der Kieserit-Verlösung erforderlichen Fließwege durch den Kompaktionsprozess geschlossen werden. Nachweislich der von K+S vorgelegten Berechnungsergebnisse wird ausgeführt, dass dadurch der zeitlich langsam ablaufende Prozess der Kieserit-Verlösung

spätestens nach Erreichen einer Eindringtiefe von ca. 30 bis 35 m zum Stillstand kommt. Somit wäre der Nachweis geführt, dass das Löseresiduat der Flözlager im zeitlichen Verlauf des Einstapelns kompaktiert wird, bevor das Eindringen der Lösefront in den MSSPF ein standsicherheitlich relevantes Maß erreicht hat und dass somit auch langfristig die Funktionalität des MSSPF erhalten bleibt bzw. ein lösungskinetisch induzierter Übertritt von Lösungen aus dem SW-Feld Springen in benachbarte Grubenfelder mutmaßlich nicht zu besorgen ist.

Abschließend bleibt noch nachzuweisen, dass die Integrität der lateralen und vertikalen Barrieren erhalten bleibt, sodass weder durch eine Verletzung des Dilatanzkriteriums noch durch eine Verletzung des Fluidkriteriums ein Zutritt ungesättigter Lösungen aus dem Neben- oder Deckgebirge bzw. aus dem Subsalinar in das SW-Feld Springen und die benachbarten Grubenfelder zu besorgen ist. K+S hat diesbezüglich für drei repräsentative Schnitte durch das SW-Feld Springen gezeigt, dass sowohl das Dilatanzkriterium als auch das Fluidkriterium ausschließlich im Nahbereich der Grubenbaue temporär verletzt wird und die verbleibende Mächtigkeit der ungeschädigten Barrieren in jedem Fall größer als 30 m ist. Vorstehende Aussage gilt im Grundsatz auch für die durch zwei 3D-Raummodelle analysierte Situation (vgl. [6-2-10], Abschnitt 5.5), bei der eine dichtegetriebene Konvektion aufgrund der Verteilung von Hartsalz und Carnallitit auf der zweiten Sohle rechnerisch mit einer zweifachen Carnallitit-Verlösung auf der ersten Sohle abgebildet wurde. Im Unterschied zu der bei den Streifenmodellen angesetzten initialen Verlösung des Carnallitits bis in eine Tiefe von 60 cm wurde daher bei den 3D-Raummodellen in den folgenden 60 Jahren eine Verlösung bis in eine Tiefe von insgesamt 1,5 m vorgegeben. Wie oben diskutiert sind die Gutachter der Auffassung, dass sowohl die Eindringtiefe der Lösungsfront als auch der Effekt einer möglichen dichtegetriebenen Konvektion gegebenenfalls für die Situation in situ nicht repräsentativ sind.

Im Ergebnis der rechnerischen Analyse wird lediglich das Dilatanzkriterium eingehalten, während das Fluidkriterium in der Hangendbarriere vollständig verletzt wird (Berechnungsmodell D-NW) oder in der Liegendbarriere vollständig verletzt wird (Berechnungsmodell D-SE). Eine Analyse der Raumrichtung der minimalen Hauptspannung zeigt jedoch für beide Raummodelle, dass die durch die Raumrichtung der Hauptspannungen definierte Fließ- bzw. Migrationsrichtung der Lösungen nicht geeignet ist, die Grubenbaue zu erreichen. Bedingt durch die sich aus der Raumrichtung der Hauptspannungen ableitende Gewölbebildung über und unter den Abbauen werden die im Hangenden und Liegenden zusitzenden Fluide derart um die Abbaue herumgeführt, dass eine potenziell senkrecht zur minimalen Hauptspannung migrierende Lösung im Unverritzten endet. Die mit der vorstehenden Erweiterung des Fluidkriteriums verbundene methodische Vorgehensweise ist Stand der Technik in Fällen, in denen das sehr konservative Fluidkriterium ohne Berücksichtigung der Ausrichtung der Spannungstrajektorien einen Nachweis nicht ermöglicht. Eine weitere Präzisierung des Minimalspannungskriteriums ist darüber hinaus nur möglich, wenn mechanisch-hydraulisch gekoppelte Berechnungen durchgeführt werden, bei denen über die Orientierung der Spannungstrajektorien hinaus zusätzlich die Wechselwirkungen zwischen den hydraulischen und den mechanischen Zustandsfeldern, die zwischen der potenziellen Zutrittslokation und der Lösungsfront zunehmenden Fließwiderstände und/oder die generelle Verfügbarkeit zusitzender Fluide berücksichtigt werden.

Auch wenn die von K+S vorgelegten Berechnungen zeigen, dass bei Berücksichtigung der durch die Raumrichtung der Hauptspannungen definierten Richtung einer Fluidmigration das "erweiterte" Minimalspannungskriterium auch für die Sondersituation einer "zweifachen Carnallitit-Verlösung" eingehalten wird, bleibt darauf hinzuweisen, dass mit den vorgelegten Berechnungen lediglich die Zeitpunkte t = 3.200 a nach Einstapeln (Berechnungsmodell D-NW) bzw. t = 2.400 a nach Einstapeln (Berechnungsmodell D-SE) belegt sind. Obgleich zumindest phänomenologisch nicht zu erwarten ist, dass sich die Raumrichtung der Hauptspannungen mit der Zeit signifikant ändert, wäre die Einhaltung des "erweiterten" Minimalspannungskriteriums für mehrere diskrete Zeitpunkte (z.B. Zeitpunkt t1 bei erstmaliger durchgängiger Verletzung des Minimalspannungskriterium zwischen Oberkante Hangendbarriere bzw. Unterkante Liegendbarriere und SW-Feld; Zeitpunkt t2 bis tn ≈ 100a + t1) noch zu belegen.

3.6 Ergebnis der Prüfung

3.6.1 Formale Aspekte der Antragsunterlagen

Der Umfang der Antragsunterlagen sowie der Umstand, dass es sich um eine über einen längeren Zeitraum aus Einzeldokumenten zusammengestellte ("gewachsene") Dokumentation handelt, erschweren die fachlich-inhaltliche Prüfung. Durch die fortlaufende Erweiterung der vorgelegten Datenbasis ergaben sich zum Teil Änderungen, die Anpassungen der konzeptionellen Herangehensweise, der Herleitung von Annahmen sowie der fachlich-technischen Argumentation erforderlich machten.

Seitens der Antragstellerin wurde darauf verzichtet, die Gesamtheit der Antragsunterlagen hinsichtlich der Erweiterung und Anpassungen von Daten, Inhalten, Annahmen, Herleitungen und Argumenten zu aktualisieren oder Änderungen zumindest in jedem Fall eindeutig kenntlich zu machen. Damit bleiben auch die durch spätere Unterlagen mutmaßlich überholten oder irrelevant gewordenen Aspekte Bestandteile des Antrags, die im Widerspruch zu Antragsinhalten jüngeren Datums stehen können.

Wie im Abschnitt 3 dieses Gutachterberichts mit Textstellenbezügen im Detail ausgeführt ist, resultieren daraus häufig Brüche in der Darstellung und Nachweisführung. Es besteht darüber hinaus die grundsätzliche Schwierigkeit, dass ein von der Antragstellerin intendiertes Gesamtkonzept nicht unmittelbar erkennbar ist, das alle dokumentierten Daten und Ergebnisse im Sinne einer abschließenden Modellbildung zusammenführt.

Wesentliche Anforderungen an einen dem Zweck angemessenen, verfahrensüblichen Umfang sowie an eine kongruente und nachvollziehbare Form, Gliederung und Struktur der Antragsunterlagen sehen die Gutachter damit nicht oder nur eingeschränkt erfüllt.

3.6.1 Fachlich-inhaltliche Aspekte

Das Gesamtszenario der Lösungseinwirkung ist nach Auffassung der Gutachter von der Antragstellerin im Grundsatz richtig und mit seinen wesentlichen Elementen berücksichtigt. Zu großen Teilen kann den mit den Unterlagen dokumentierten Untersuchungen Stand der Wissenschaft und Technik bzw. sinnvolles ingenieursmäßiges Vorgehen attestiert werden.

Die Sicherstellung einer dauerhaft (mindestens) 98%igen Carnallit-Sättigung der Lösung im Stapel schätzen die Gutachter als kritisch ein. Vor diesem Hintergrund halten sie das Konzept zur Qualitätssicherung und Überwachung der Zusammensetzung der Stapellösung für im Detail nachbesserungsbedürftig. Es ist nach Auffassung der Gutachter zudem nicht aufgezeigt, wie verhindert werden kann, dass sich die Lösung auf dem Transportweg verändert oder ihre Zusammensetzung im Stapel durch natürliche oder technische untersättigte Lösungen (aus den Subsalinar, dem Deck- oder Nebengebirge) beeinflusst wird.

Es ist nicht hinreichend sicher belegt, dass sich bruchtektonische Elemente wie Schnittlineamente und dokumentierte durchfeuchtete Rupturen beim bzw. nach dem Einstapeln nicht als hydraulische Wegsamkeiten im MSSPF erweisen können. Umfang und Ergebnis der durchgeführten in-situ-Teste auf einzelne Schnitte sind nach Auffassung der Gutachter nicht geeignet, dies verlässlich auszuschließen.

Bezüglich der in den Antragsunterlagen dokumentierten Dimensionierung des MSSPF ist festzuhalten, dass lokal die erforderliche Pfeilermächtigkeit offenbar unterschritten wird. Der Status und die Langzeitdichtung zweier den MSSPF durchörternden Bohrungen sind nicht geklärt.

In den Augen der Gutachter ist es ein im Grunde sinnvolles Vorgehen, die Beschreibung der geologischen Verhältnisse auf die historische Dokumentation zu gründen und durch gezielte Neuaufnahmen stichprobenartig zu überprüfen. Die Auswahlkriterien für die neu aufgenommenen Punkte und

insbesondere ihre Lage und Verteilung im Grubengebäude werden von der Antragstellerin aber nicht hinreichend erläutert.

Die geologische Dokumentation und Interpretation soll vor allem dazu dienen, Lücken in der geologischen Modellvorstellung soweit wie möglich zu schließen und "weiße Flecken" zu reduzieren, um damit die Randparameter für alle weiteren Betrachtungen zur Verlösung des Pfeilergesteins und zu den daraus resultierenden nachgeordneten Effekten möglichst genau und mit einem Minimum an Restunsicherheiten beschreiben zu können. Hier muss aber konstatiert werden, dass die Stöße im zu betrachtenden Abschnitt des MSSPF weder in SW-Feld Springen noch in der Grube Wintershall vollständig geologisch aufgenommen sind. Auch angesichts der Neuartigkeit und möglichen Tragweite des Einstapelns wäre es nach Auffassung der Gutachter angeraten, ein gezielteres und auch umfangreicheres Untersuchungsprogramm als das dokumentierte durchzuführen.

Es liegt in der Natur der Sache, dass eine geologische Modellvorstellung Restunsicherheiten enthält, die sich hier unter anderem zwangsläufig daraus ergeben, dass zum einen der MSSPF in Teilen des Grubengebäudes nicht mehr erreichbar ist, zum anderen dieser in seinem Kern auch nicht direkt erkundet werden kann. Dies allein ist nach Auffassung der Gutachter kein Grund, die geologische Modellvorstellung oder in der Folge davon auch die Machbarkeit des Vorhabens grundsätzlich in Frage zu stellen. Gleichwohl sollte jede zur Verfügung stehende und mit einem der Fragestellung angemessenen Aufwand einsetzbare Erkundungsmethode angewandt und für die nachgelagerten Interpretationen ein methodisches Vorgehen zugrunde gelegt und dokumentiert werden. Vor allem in diesen Punkten bleibt die K+S teilweise hinter dem nach Stand von Wissenschaft und Technik Machbaren zurück.

Auch die Art der Darstellung bleibt zu bemängeln, da – wie oben ausführlich diskutiert – zum einen das Vorgehen bei der Interpretation in die Fläche und die risslichen Darstellungen Fragen aufwerfen, zum anderen die generalisierten Profile mit zum Teil gewichteten Angaben zur Mächtigkeit und den Wertstoffgehalten nicht zielführend sind.

Die geochemischen Grundlagen und die bei der Verlösung des Pfeilergesteins ablaufende Prozesse sind im Grundsatz richtig dargestellt und berücksichtigt. An einigen – und für die Nachvollziehbarkeit und Bewertung der Darstellung nach Auffassung der Gutachter maßgeblichen – Stellen werden jedoch Grundlagendaten (v.a. die verwendete thermodynamische Datenbasis) nicht genannt bzw. nicht begründet und es bleibt bei der Berücksichtigung lediglich "generalisierter" oder "exemplarischer" Verhältnisse unklar, inwieweit der Bezug zu einer ortskonkreten Situation hergestellt wurde oder werden kann. Art, Anzahl und Dauer der durchgeführten Löseversuche sind nach Ansicht der Gutachter nicht geeignet, daraus verlässlich auf ein für die in-situ-Verhältnisse zutreffendes und nachvollziehbares Lösegeschehen zu schließen.

Die Gutachter vertreten die Auffassung, dass nicht ausgeschlossen werden kann, dass Verlöseraten, Eindringtiefen der Lösefront und verlöste Gesteinsvolumina für einzelne Zustände im zeitlichen Verlauf des Einstapelns bzw. für ortskonkrete Situationen im Stapel höher anzusetzen sind, als die K+S dies tut.

Die Gutachter halten es für grundsätzlich nachvollziehbar und sinnvoll, Gegebenheiten und Prozesse zu betrachten, die das Eindringen der Lösungsfront verlangsamen oder ganz zum Stillstand kommen lassen können (Gefügeausbildung, Mineralneubildung, Kompaktion des teilverlösten Pfeilers). Sie sind jedoch der Auffassung, dass die einzelnen Gegebenheiten und Prozesse und umso mehr ihr mutmaßlich komplexes Wechselwirken kaum in seiner Gesamtwirkung zu bewerten und insbesondere der Grad der Konservativität solcher Bewertungen nicht einzuschätzen sind. Andererseits schließen die Gutachter aber auch nicht aus, dass die Annahmen zu den Effekten, die diese Gegebenheiten und Prozesse auf das Gesamtszenario der Lösungseinwirkung mutmaßlich haben, zutreffen.

Im Gegensatz zu den in Teilen lückenhaften Darstellungen zur Geologie und zur Geochemie wird die von der Antragstellerin vorgelegte methodische Vorgehensweise zur Einschätzung der gebirgsmechanischen Auswirkungen der Lösungseinwirkung von den Gutachtern als im Grundsatz plausibel, nachvollziehbar und dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechend bewertet. Es wurden hier augenscheinlich

geeignete und durch eine Kalibrierung an den messtechnisch beobachteten Gebirgsbewegungen (Senkungen, Konvergenzen) validierte Funktionsmodelle generiert, mit denen die möglichen Auswirkungen des Einstapelns umfangreich und konservativ rechnerisch analysiert werden können.

Somit ist der Prozess der Kompaktion der Löseresiduate, der mutmaßlich das tiefere Eindringen der Lösungsfront in das Pfeilergestein mittelfristig verhindern wird, zumindest aus gebirgsmechanischer Sicht hinreichend nachvollziehbar belegt. Es ist dies nach Einschätzung der Gutachter überhaupt der einzige Prozess, der, sofern seine Wirksamkeit gegeben ist, die Machbarkeit des von der K+S zur Genehmigung beantragten Vorhabens des Einstapelns von konditionierten Prozesswässern im SW-Feld Springen garantieren kann. Dies vor dem Hintergrund, dass nach Dafürhalten der Gutachter allein aus geochemisch-thermodynamischer Sicht insgesamt der Nachweis nicht erbracht wurde, dass eine Lösungseinwirkung auf den MSSPF in standsicherheitlich relevantem Ausmaß bis hin zu seiner vollständigen Durchlösung für jede Situation im Grubengebäude verlässlich ausgeschlossen werden kann.

Einschränkend muss hier jedoch angemerkt werden, dass ungeachtet der generellen Nachvollziehbarkeit der gebirgsmechanischen Modellbildung diese Einschätzung vorbehaltlich dessen zu gelten hat, dass die Verlöseraten in den unterschiedlichen Salinargesteinen (auch unter Berücksichtigung der ortskonkreten Ausbildung am MSSPF) zutreffend sind und die daraus abgeleiteten Verlösetiefen, der lösungsbedingte Abtrag der Pfeiler und die Porositäten der Lösungsresiduate richtig angesetzt wurden.

Im Rückbezug zu dem im Abschnitt 3.6.1. bemängelten Fehlen einer abschließenden Modellbildung sei hier weiterhin erwähnt, dass die Gutachter wiederholt vorgeschlagen haben, den Betrachtungen eine "ungünstigste Situation" zugrunde zu legen, die mit ihren Einzelmerkmalen beschrieben und im Einstapelraum auch konkret lokalisiert ist. Nach Auffassung der Gutachter wäre es ein methodisch sinnvolles und nachvollziehbares Herangehen, den Nachweis zu führen, dass auch für diese "ungünstigste Situation" eine Beeinträchtigung der Barrierewirkung des MSSPF durch das Einstapeln nicht zu besorgen ist. Wenn dieser Nachweis erfolgt, kann die Standsicherheit und die Barrierenintegrität im zu betrachtenden Abschnitt des MSSPF insgesamt als gewahrt gelten. Die "ungünstigste Situation" kann durch ein Aufaddieren der Einzelmerkmale in ihrer jeweils ungünstigsten Ausprägung konstruiert werden, als da sind:

- die geringste Abmessung des MSSPF bzw. geringste Entfernung der Grubenbaue (auf thüringischer und hessischer Seite) zueinander
- die Lagerungsverhältnisse und das lokale Schichteinfallen
- die für das Lösegeschehen ungünstigste Mineralparagenese und Textur im Flözlager
- die (maximale) Dichte und Häufigkeit potentiell hydraulisch wirksamer bruchtektonischer Elemente sowie deren laterale Ausdehnung und ihre potentielle Wegsamkeit
- die räumliche Nähe zu und damit mögliche Beeinflussung durch zusitzende untermineralisierte Wässer, die die Zusammensetzung der Lösung im Stapel verändern können
- die größte Unsicherheit bezüglich des geologischen Aufbaus im Kern des MSSPF

Um dabei kein übermäßig konservatives Szenario zu generieren, muss es Aufgabe der geologischen Dokumentation sein, zu ermitteln, welche "ungünstigste Situation" im Betrachtungsraum tatsächlich oder höchstwahrscheinlich realisiert ist sowie diese ortskonkret zu benennen. Wie oben ausgeführt, ist dies in den Augen der Gutachter nur in Ansätzen umgesetzt.

Allein auf der Grundlage der von der K+S in den Antragsunterlagen mitgeteilten Untersuchungen und Ergebnisse kann daher nur vermutet, aber nicht abschließend bestätigt werden, dass die unmittelbaren und mittelbaren Folgen des Einstapelns konfektionierter Prozesswässer im SW-Feld Springen bis zum Niveau -140 m NN (und ein anschließendes konvergenzbedingtes Aufgehen der Lösung bis -100 m NN) ohne sicherheitlich relevante Auswirkungen auf den MSSPF, die Grubenbaue im Feld Winterhall, die UTVn und die UTD Herfa-Neurode sind.

4 Empfehlungen

Ausgehend von dem Ergebnis der fachlichen Prüfung der von der K+S vorgelegten Antragsunterlagen (vgl. Abschnitt 3.6) und den damit festgestellten Unklarheiten bezüglich zum einen der Darstellung und zum anderen der Machbarkeit des Vorhabens empfehlen die Gutachter, vor dem möglichen Beginn des Vorhabens vertiefende Ausführungen zu ergänzen und zusätzliche Untersuchungen vorzunehmen sowie das Einstapelbetrieb selbst mit betrieblich-technischen Maßnahmen zu flankieren. In diesem Zusammenhang wird angeraten, vor allem die Umsetzung der betrieblich-technischen Maßnahmen im Falle einer Genehmigung durch das TLUBN bzw. der Erteilung des Einvernehmens durch das RPKS gegebenenfalls in entsprechende Nebenbestimmungen zu fassen.

Abschließende Modellbildung

Nach Auffassung der Gutachter sollte die K+S dazu aufgefordert werden, die Antragsunterlagen noch durch die oben bereits angesprochene abschließende Modellbildung zu ergänzen, der vor allem auch die Betrachtungen einer "ungünstigsten Situation" zugrunde liegen sollte. Dazu sollte in übersichtlicher Form zusammengefasst werden, welche der insgesamt dokumentierten Daten und Ergebnisse nach Einschätzung der Antragstellerin weiterhin Relevanz für die Gesamtaussage haben. Es sollte in diesem Zusammenhang zusätzlich dargelegt werden, welche einzelnen Grundlagendaten, Befunde und Annahmen in welche Rechnungen, Modellierungen etc. eingegangen sind und welche Ergebnisse jeweils daraus generiert wurden.

Darstellung der zeitlich-räumlichen Entwicklung des Stapels

Als weitere Ergänzung wird empfohlen, bei der K+S eine Planung anzufordern, die die vorgesehene Umsetzung des Vorhabens im Hinblick auf die dabei ablaufende zeitliche und räumliche Entwicklung des Stapels in ausreichendem Detail beschreibt.

Unter Berücksichtigung der Geometrie des Grubengebäudes (insbesondere auch von lokalen Senken und Schwellen sowie Firsthöhen) und der sich im Verlauf des Einstapelns z.B. durch Abwerfen von Rohrabschnitten verändernden Position des Einleitpunktes sollte diese darstellen, welche Teile des SW-Feldes Springen im zeitlichen Verlauf nacheinander gefüllt werden und wie sich das einzustapelnde Gesamtvolumen bis zum Erreichen der Teufenlinie bei -140 m NN bzw. im weiteren Verlauf bis -100 m NN nach und nach im Grubengebäude ausbreitet. So sollte auch erkennbar werden, zu welcher Zeit an welchen Orten die Stapellösung mit welcher Flözfazies in Kontakt treten wird. Ferner sollte daraus deutlich werden, welche Kaligesteine mit welcher aufgeschlossenen Oberfläche am MSSPF und an den Baufeldpfeilern insgesamt vertreten sind, woraus dann für jeden Zeitpunkt ortskonkret abgeleitet werden kann, welche Gesteinsvolumina welchem Lösungsvolumen ausgesetzt sind.

Die Gutachter sind der Auffassung, dass eine solche Darstellung dazu beitragen kann, schon im Vorfeld solche Situationen zu identifizieren, die während des Betriebes möglicherweise besonderes Augenmerk z.B. hinsichtlich der spezifikationsgemäßen Zusammensetzung der Lösung erfordern werden.

Qualitätssicherung der Prozesswässer, Überwachung der Lösungszusammensetzung im Stapel

Nach Auffassung der Gutachter muss die (mindestens) 98%ige Carnallit-Sättigung der Stapellösung bei in-situ Temperatur im Stapelraum im SW-Springen Springen eingehalten werden und sollte auch dort kontrolliert werden. Neben der Spezifikation der Lösungszusammensetzung sollten auch die maximal zulässigen Abweichungen festgelegt, begründet und nachweislich eingehalten werden.

Die Gutachter empfehlen, von der Antragstellerin eine Darstellung dazu zu verlangen, wie sie zu gewährleisten beabsichtigt, dass die Lösung sich in ihrer Zusammensetzung auf dem Transportweg (vom Grubenfeld Wintershall in das SW-Feld Springen) nicht verändert. Dazu, wie sie sicherstellen und mit

welcher apparativen Ausstattung überwachen will, dass die Lösung die beabsichtigte Spezifikation aufweist, wenn sie im Stapelraum mit dem Salzgestein in Kontakt kommt. Zielführende Messungen müssen die Erfassung von Dichte, Temperatur und Zusammensetzung der Lösung mittels filtrierter Proben am Ort des Einstapelns beinhalten. Die regelmäßigen Kontrollanalysen sollten sich dabei nicht auf Mg beschränken, sondern den Umfang von Vollanalysen (mit Na, K, Ca, Mg, Cl und SO_4, Dichte, Temperatur, gegebenenfalls Feststoffgehalt) haben. Zudem sollten auf Grundlage jeder Vollanalyse auch Sättigungsrechnungen angestellt werden (mit Nennung der verwendeten thermodynamischen Datenbasis), aus der die Sättigungswerte aller wesentlichen Minerale (Halit, Sylvin, Kainit, Carnallit, Kieserit und Polyhalit) erkennbar sind. Den Behörden sollten die Ergebnisse der analytischen Qualitätssicherung zusammen mit Volumenangaben zur eingebrachten Stapellösung regelmäßig (in Form von Tages-, Wochen- und/oder Monatsberichten) mitgeteilt werden.

Nach Einschätzung der Gutachter sind diese relevanten Punkte in den bislang von der Antragstellerin mitgeteilten Arbeitsprogrammen nicht ausreichend berücksichtigt. Es wäre unter Umständen weiterhin zu verlangen, dass die K+S ihre Verfahrensanweisungen für die Probennahme, die Analyse und die Interpretation bzw. die Modellrechnung zugänglich macht. Daneben sollte das Arbeitsprogramm eine Beschreibung der bei Abweichungen von den Spezifikationswerten zu ergreifenden Maßnahmen enthalten.

Überwachung des MSSPF aus dem Grubenfeld Wintershall heraus

Nach dem vollständigen Einstapeln werden der MSSPF vom SW-Feld Springen her unzugänglich und die Lösungseinwirkung auf das Pfeilergestein dort der direkten Beobachtung vollständig entzogen sein. Daher muss nach Auffassung der Gutachter jegliche tiefgreifende Durchfeuchtung des MSSPF, die über ein nach dem Szenario erwartbares und ein sicherheitlich zulässiges Maß hinausgeht sowie umso mehr jeglicher Übertritt von Lösung in das Grubenfeld Wintershall dort und dazu so frühzeitig wie möglich erkannt werden.

Die Gutachter empfehlen, die Antragstellerin aufzufordern, ein Konzept vorzulegen, wie eine dahingehende Überwachung des gesamten infrage stehenden Abschnitts des MSSPF vom Grubenfeld Wintershall aus technisch umgesetzt werden könnte. Die K+S sollte auch aufgefordert werden, dabei ausdrücklich die derzeit nicht zugänglichen Teilabschnitte im Bereich der UTV zu berücksichtigen.

Nach Dafürhalten der Gutachter wären etwa folgende Maßnahmen denkbar und auch technisch machbar:

- Regelmäßige Bemusterung entlang der zugänglichen Teilabschnitte und Kontrolle auf Nass- und Tropfstellen.
- Regelmäßige Radarmessungen entlang des MSSPF um eine Durchfeuchtung des Pfeilergesteins bzw. insbesondere Veränderungen in Bereichen mit zuvor festgestellten niederfrequenten Reflexionen zu erkennen.
- Für die unzugänglichen Teilabschnitte im Bereich der UTV könnten automatisierte Messungen der relativen Gleichgewichtsfeuchte vorgesehen werden. Zur technischen Umsetzung müssten verrohrte horizontale Bohrlöcher aus den offenen Kammern des Grubengebäudes Wintershall in die mit Abfällen versetzten Kammern bis an den MSSPF heran gestoßen werden. Am Ende der verrohrten Bohrung wären in einem geschlitzten Rohr entsprechende Feuchtefühler im Versatz zu installieren.

Überwachung der Konvergenz und Senkung

Das vorgesehene Konzept zur Überwachung der durch das Einstapeln induzierten Veränderungen des Gebirgsverhaltens sollte von der K+S noch einmal abschließend überarbeitet vorgelegt werden.

Die Gutachter empfehlen, die Anzahl und Lokation der Konvergenzmessstellen insoweit zu optimieren, dass nicht nur im Bereich unterdimensionierter Baufeldpfeiler eine in-situ Überwachung erfolgt, sondern

auch im Bereich standsicher dimensionierter Pfeiler das Konvergenzverhalten überwacht wird. Messstellen sollten auch insbesondere dort eingerichtet werden, wo der Anteil der Mineralphasen im Pfeilergestein, die im Kontakt mit Stapellösung bevorzugt verlöst werden, hoch ist. Die Konvergenzmessungen sollten insgesamt geeignet sein, die Streubreite des prognostizierten Konvergenzverhaltens abhängig von Teufe, Flözparagenese und Beanspruchung zu überprüfen.

Es wird weiterhin empfohlen, Fernerkundungsdaten zur flächenhaften Erfassung von Änderungen an der Geländeoberfläche zu nutzen. Dabei wäre für die Phase des Einstapelbetriebs eine zeitlich enger getaktete Beobachtung (z.B. vierteljährlich), und für die folgende Nachsorgephase ein demgegenüber reduziertes Beobachtungsintervall sinnvoll. Wenngleich die Nutzung von Fernerkundungsmethoden durch eine dichte Vegetation beeinträchtigt sein kann, ist nicht zuletzt vor dem Hintergrund der jüngeren und fortlaufenden Entwicklung von Satelliten- und Befliegungstechniken sowie der Auswertung damit gewonnener Daten zu empfehlen, die technischen Möglichkeiten für eine Überwachung des Gebiets über dem SW-Feld Springen zu prüfen. Dabei könnten mögliche Veränderungen der Vegetation sogar als Indikator für z.B. Grundwasserveränderungen berücksichtigt werden.

Erprobung, Abbruchkriterien und Rückholszenario

Aufgrund der Neuartigkeit und möglichen Tragweite des Vorhabens und der Tatsache, dass das zugrundeliegende Machbarkeitsszenario sich ganz wesentlich auf das Zusammenspiel verschiedener, sowohl in ihrer Einzelwirkung als auch in ihrem Zusammenwirken kaum einschätzbarer Prozesse gründet, erscheint es den Gutachtern geboten, das Einstapeln zunächst schrittweise bzw. nur in einem Teilbereich (naturgemäß im Grubentiefsten des SW-Feldes Springen) in situ zu erproben. Zusätzlich wäre zu erwägen, parallel dazu in einem dauerhaft gut zugänglichen Grubenteil – etwa auch im Feld Winterhall – einen Versuchsstapel anzulegen, um dort gezielt zusätzliche praktische Nachweise der Verträglichkeit für das weitere Einstapeln im SW-Feld Springen zu generieren.

Sollte sich bei der in-situ-Erprobung erweisen, dass sich Verlöseraten und/oder Eindringtiefen der Lösefront in das Pfeilergestein sowie die dabei verlösten Gesteinsvolumina maßgeblich anders als erwartet und in einer sicherheitlich bedenklichen Größenordnung einstellen, wäre die Maßnahme abzubrechen. Die Kriterien und Grenzwerte für einen solchen Abbruch sind zuvor in Maß und Zahl zu definieren und zugleich ist ein Konzept für eine dann gegebenenfalls erforderliche Rückholung des dann bereits eingestapelten Lösungsvolumens zu entwickeln sowie für dieses ein alternativer Entsorgungsweg aufzuzeigen.

Quellenverzeichnis 1: Antragsunterlagen

Das Verzeichnis der Antragsunterlage entspricht in seiner Gliederung dem vom TLUBN am 07.02.2022 zusammengestellte "Inhaltsverzeichnis zur 7. Ergänzung zum Abschlussbetriebsplan für den Standort Merkers, Grube Merkers/Grube Springen - Einstapeln von Lösungen im Südwestfeld Springen". Die Ordnungsnummern in eckigen Klammern wurden vergeben, um im Text des Gutachterberichts in kurzer und eindeutiger Form auf einzelne Dokumente referenzieren zu können

Die von der gutachterlichen Prüfung ausgenommene Dokumente sind durch Streichung gekennzeichnet.

[1]	Antrag	Einstapeln von Lösungen im Südwestfeld Springen	07.08.2020
[2]	Anhang 1	Karten und Lagepläne (Anlagen)	
[2-1]		Ausschnitt aus der TK25	
[2-1-1]		Übersichtsplan Hessen	30.07.2021
[2-1-2]		Übersichtsplan Thüringen	07/2021
~~[2-2]~~		~~Trassenbereiche~~	
~~[2-2-1]~~		~~Trassenbereiche SP-SW-Feld~~	~~07.07.2020~~
~~[2-2-2]~~		~~Trassenbereiche HW und SP~~	~~11.03.2020~~
~~[2-3]~~		~~Anordnung Molchstationen~~	~~10.01.2020~~
~~[2-4]~~		~~Durchörterung MSF - Übersichtsriss~~	
[2-5]		Einstapelbereich Grube Springen SW-Feld 1. Sohle	05.08.2020
[2-6]		Einstapelbereich Grube Springen SW-Feld 2. Sohle	05.08.2020
~~[3]~~	~~Anhang 2~~	~~Allgemeine Unterlagen~~	
~~[3-1]~~	~~2.1~~	~~Bergrechtliche Entscheidungen~~	
~~[3-1-1]~~		~~2.1.1~~ ~~ABP Merkers – Anträge und Zulassungen~~	~~03.07.2020~~
~~[3-1-2]~~		~~2.1.2~~ ~~Fortgeltende Sonderbetriebspläne~~	~~23.07.2019~~
~~[3-1-3]~~		~~2.1.3~~ ~~Sonderbetriebspläne ohne Nummer und sonstige Dokumente~~	
~~[3-2]~~	~~2.2~~	~~Gewinnungsberechtigung~~	~~15.01.2018~~
~~[3-3]~~	~~2.3~~	~~Übersicht der Betriebsanweisungen~~	~~09/2019~~
	~~Anhang 3~~	~~Zeitplan (entfällt)~~	
[4]	Anhang 4	Technologische Unterlagen	
[4-1]	4.1	Schema Einstapelung Grube Springen	11.10.2019
[4-2]	4.2	Betriebsregime	07.08.2020
[5]	Anhang 5	Fachgutachten	

[5-1]	5.1	Gutachterliche Bewertung von Auswirkungen einer Einstapelung konditionierter Prozesswässer in das Grubengebäude Springen auf den Markscheidesicherheitspfeiler zwischen dem thüringischen Grubenfeld Springen und dem hessischen Grubenfeld Wintershall, auf den Sicherheitspfeiler entlang der Baufeldgrenze zwischen den thüringischen Grubenfeldern Springen und Merkers sowie auf die anderen lateralen Barrieren des Grubenfeldes Springen (ERCOSPLAN Ingenieurgesellschaft Geotechnik und Bergbau mbH)	23.03.2020
		Anlagen zu 5.1	
[5-1-1]	1	Lithologische Ausbildung des Kaliflözes Hessen (z1KHe) im Grubenfeld Springen (1. Sohle) und im Markscheide-sicherheitspfeiler (MSPSW) sowie den daran angren-zenden Teilen des Grubenfeldes Wintershall und im Sicherheitspfeiler entlang der Baufeldgrenze zwischen den Grubenfeldern Springen und Merkers (SPBSM) sowie den daran angrenzenden Teilen des Bergwerkes Merkers, mit Isobathen der Grubenbaue auf der 1. Sohle	03.02.2020
[5-1-2]	2	Lithologische Ausbildung des Kaliflözes Thüringen (z1KTh) im Grubenfeld Springen (2. Sohle) und im Markscheidesicherheitspfeiler (MSPSW) sowie den daran angrenzenden Teilen des Grubenfeldes Wintershall und im Sicherheitspfeiler entlang der Baufeldgrenze zwischen den Grubenfeldern Springen und Merkers (SPBSM) sowie den daran angrenzenden Teilen des Bergwerkes Merkers, mit Isobathen der Grubenbaue auf der 2. Sohle	03.02.2020
[5-1-3]	3	Geostatistische Analyse zur lithologischen Ausbildung der Kaliflöze Hessen (z1KHe) und Thüringen (z1KTh) im Grubenfeld Springen sowie im Markscheidesicherheits-pfeiler zwischen dem Grubenfeld Springen und dem Grubenfeld Wintershall (MSPSW), im Sicherheitspfeiler entlang der Baufeldgrenze zwischen den Grubenfeldern Springen und Merkers (SPBSM) sowie in den anderen lateralen Barrieren des Grubenfeldes Springen	
[5-1-4]	4	Struktureller Bau und bruchtektonische Elemente im Kaliflöz Hessen (z1KHe) sowie Vulkanit- und Gas-vorkommen in Grubenfeld Springen (1. Sohle) und im Markscheidesicherheitspfeiler (MSPSW) sowie den daran angrenzenden Teilen des Grubenfeldes Wintershall und im Sicherheitspfeiler entlang der Baufeldgrenze zwischen den Grubenfeldern Springen und Merkers (SPBSM) sowie den daran angrenzenden Teilen des Bergwerkes Merkers	03.02.2020
[5-1-5]	5	Struktureller Bau und bruchtektonische Elemente im Kaliflöz Thüringen (z1KTh) sowie Vulkanit- und Gas-	03.02.2020

		vorkommen im Grubenfeld Springen (2. Sohle) und im Markscheidesicherheitspfeiler (MSPSW) sowie den daran angrenzenden Teilen des Grubenfeldes Wintershall und im Sicherheitspfeiler entlang der Baufeldgrenze zwischen den Grubenfeldern Springen und Merkers (SPBSM) sowie den daran angrenzenden Teilen des Bergwerkes Merkers
[5-1-6]	6	Tabellarische Übersichten zu den Lagerungsverhältnissen, den Vulkanit- und Gasvorkommen sowie weiteren bruchtektonischen Elementen im Grubenfeld Springen und in den an den Markscheidesicherheitspfeiler (MSPSW) angrenzenden Teilen des Grubenfeldes Wintershall und den an den Sicherheitspfeiler entlang der Baufeldgrenze zwischen den Grubenfeldern Springen und Merkers (SPBSM) angrenzenden Teilen des Bergwerkes Merkers
[5-1-7]	7	Methodische Grundlagen zur Quantifizierung der Lösungs- und Umbildungsprozesse mit Hilfe thermodynamischer Gleichgewichtsbetrachtungen im quinären System
[5-1-8]	8	Methodische Grundlagen zur Quantifizierung der Lösungs- und Umbildungsprozesse mit Hilfe thermodynamischer Gleichgewichtsbetrachtungen im hexären System sowie Vergleich der Resultate der Quantifizierung im quinären und hexären System
[5-1-9]	9	Anwendung der Ergebnisse der thermodynamischen Gleichgewichtsbetrachtungen zur Bilanzierung von Lösungs- und Umbildungsprozessen für die lithologischen Standardabfolgen im Grubenfeld Springen sowie im Markscheidesicherheitspfeiler zwischen dem Grubenfeld Springen und dem Grubenfeld Wintershall (MSPSW), im Sicherheitspfeiler entlang der Baufeldgrenze zwischen den Grubenfeldern Springen und Merkers (SPBSM) sowie in den anderen lateralen Barrieren des Grubenfeldes Springen
[5-1-10]	10	Erläuterungen zur methodischen Vorgehensweise bei der Übertragung von Ergebnissen der Bilanzierung thermo-dynamischer Gleichgewichtsreaktionen sowie der Sensitivitätsanalyse zu hydraulischen Parametern der anstehenden natürlichen Salzgesteine und ihrer porösen Reaktionsprodukte auf die Quantifizierung des räumlichen und zeitlichen Fortschreitens der Einwirkungszone von Löse- und Kristallisationsprozessen in den Markscheidesicherheitspfeiler (MSPSW), in den Sicherheitspfeiler entlang der Baufeldgrenze zwischen den Grubenfeldern Springen

			und Merkers (SPBSM) sowie in die anderen lateralen Barrieren des Grubenfeldes Springen	
	~~5.2~~		~~(entfällt)~~	
~~[5-2]~~	~~5.3~~		~~Stellungnahme zur gebirgsmechanischen Verträglichkeit einer Einstapelung von Prozesslösungen in das Nordfeld Springen (Alexandershall/Abteroda) (IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH)~~	~~02.07.2020~~
	~~5.4~~		~~(entfällt)~~	
[6]	Anhang 6		Geotechnischer Begleitbericht (K+S Minerals and Agriculture GmbH (K+S), Werk Werra, Standort Merkers)	10.08.2021
[6-1]			Anlagen zum Geotechnischer Begleitbericht	
[6-1-1]		1	Übersichtsriss Grubenfeld Springen als Deckungsriss der 1. und 2. Sohle mit Darstellung der Lage des vorhabensrelevanten Betrachtungsraumes, 1:20.000	26.07.2021
[6-1-2]		2	Übersichtsriss 1. Sohle mit Darstellung der Blattaufteilung im vorhabensrelevanten Betrachtungsraum, 1:5.000 Anlagen 2.1-1 bis 2.1-13: Grundrisse 1. Sohle, 1:2.000	21.07.2021
[6-1-3]		3	Übersichtsriss 2. Sohle mit Darstellung der Blattaufteilung im vorhabensrelevanten Betrachtungsraum, 1:5.000 Anlagen 3.2-1 bis 3.2-13: Grundrisse 2. Sohle, 1:2.000	21.07.2021
[6-1-4]		4	Grundriss 2. Sohle mit Darstellung der Isobathen der Basis des Kaliflözes Thüringen im vorhabensrelevanten Betrachtungsraum, 1:10.000	15.07.2021
[6-1-5]		5	Grundriss 1. Sohle mit Darstellung der Isobathen der Basis des Kaliflözes Hessen im vorhabensrelevanten Betrachtungsraum,1:10.000	15.07.2021
[6-1-6]		6	Grundriss 2. Sohle mit Darstellung der Isobathen der Basis des Unteren Werra-Steinsalzes im vorhabens-relevanten Betrachtungsraum, 1:10.000	15.07.2021
[6-1-7]		7	Grundriss 1. und 2. Sohle als Deckungsriss mit Darstellung der Isobathen der Basis des Oberen Werra-Tons bzw. Residuats/Residualgebirges im vorhabens-relevanten Betrachtungsraum, 1:10.000	15.07.2021
[6-1-8]		8	Grundriss 2. Sohle mit Darstellung der Isopachen des Unteren Werra-Steinsalzes im vorhabensrelevanten Betrachtungsraum, 1:10.000	15.07.2021
[6-1-9]		9	Grundriss 1. und 2. Sohle als Deckungsriss mit Darstellung der Isopachen des Mittleren Werra-Steinsalzes einschließlich des Kaliflözes Thüringen im vorhabensrelevanten Betrachtungsraum, 1:10.000	15.07.2021

[6-1-10]	10	Grundriss 1. und 2. Sohle als Deckungsriss mit Darstellung der Isopachen des Oberen Werra-Steinsalzes einschließlich des Kaliflözes Hessen im vorhabensrelevanten Betrachtungsraum, 1:10.000	15.07.2021
[6-1-11]	11	Grundriss 1. Sohle mit Darstellung der bruchtektonischen Elemente im vorhabensrelevanten Betrachtungsraum, 1:5.000	26.07.2021
[6-1-12]	12	Grundriss 2. Sohle mit Darstellung der bruchtektonischen Elemente im vorhabensrelevanten Betrachtungsraum, 1:5.000	26.07.2021
[6-1-13]	13	Grundriss 1. Sohle mit Darstellung der Faziesverteilung im vorhabensrelevanten Betrachtungsraum, 1:5.000	26.07.2021
[6-1-14]	14	Grundriss 2. Sohle mit Darstellung der Faziesverteilung im vorhabensrelevanten Betrachtungsraum, 1:5.000	26.07.2021
[6-1-15]	15	Grundriss 1. und 2. Sohle als Deckungsriss mit Darstellung der Schnittspuren A – D im vorhabens-relevanten Betrachtungsraum, 1:5.000	26.07.2021
[6-1-16]	16	Geologische Profile in den Schnittspuren A u. B, 1:5.000	27.07.2021
[6-1-17]	17	Geologische Profile in den Schnittspuren C u. D, 1:5.000	12.03.2021
[6-1-18]	18	Technisches Schema der Einstapelung in die Grube Springen	11.10.2019
[6-2]	Anhänge zum Geotechnischer Begleitbericht		
[6-2-1]	1	Zur Geologie des ehemaligen Grubenfeldes Springen (K+S Aktiengesellschaft, Einheit Geology Mines im OTEC, Prof. Dr. S. Zeibig, Kassel)	09/2019
[6-2-2]	2	Protokoll Befahrung Grube Springen (4 S., 9 Anlagen) (ERCOSPLAN Ingenieurgesellschaft Geotechnik und Bergbau mbH)	17.05.2021
[6-2-3]	3	Protokoll Befahrung Grube Wintershall (3 S., 8 Anlagen) ERCOSPLAN Ingenieurgesellschaft Geotechnik und Bergbau mbH)	27.05.2021
[6-2-4]	4	Lösekinetik von Fabriklösungen im Kontakt mit unterschiedlichen Kaliflözen (39 S., 6 Anhänge), Zusammenfassende Ergebnisdarstellung IBZ Salzchemie GmbH & Co. KG)	18.05.2021
		Anhänge zum Anhang 4	
[6-2-4-1]	4.1	Abschätzung des Allgemeine Lösepotentials	09.03.2017
[6-2-4-2]	4.2	Löseprozesse von kieseritischem und langbeinitischem Hartsalz unter dynamischen	17.03.2018

		Bedingungen sowie von kieseritischem Hartsalz unter statischen Bedingungen	
[6-2-4-3]	4.3	Löseprozesse von langbeinitischem Hartsalz unter statischen Bedingungen	16.03.2018
[6-2-4-4]	4.4	Löseprozesse von kieseritischem und langbeinitischem Hartsalz in Q-ähnlicher Lösung unter statischen Bedingungen sowie in R-ähnlicher Lösung unter dynamischen Bedingungen	20.07.2018
[6-2-4-5]	4.5	Löseprozesse von carnallitischen Salzblöcken in KKF- und Q-ähnlicher Lösung unter statischen Bedingungen	08.04.2019
[6-2-4-6]	4.6	Löseprozesse von kieseritischem Hartsalz in Q-ähnlicher Lösung in Gegenwart von Carnallitit	18.05.2021
[6-2-5]	5	Fortschreibung der gutachterlichen Bewertung von Auswirkungen einer Einstapelung konfektionierter Prozesswässer in das Grubengebäude Springen auf den Markscheidesicherheitspfeiler zwischen dem thüringischen Grubenfeld Springen und dem hessischen Grubenfeld Wintershall, auf den Sicherheitspfeiler entlang der Baufeldgrenze zwischen den thüringischen Grubenfeldern Springen und Merkers sowie auf die anderen lateralen Barrieren des Grubenfeldes Springen. (69 S., 8 Anlagen) (ERCOSPLAN Ingenieurgesellschaft Geotechnik und Bergbau mbH)	05.08.2021
[6-2-6]	6	Zusammenfassender Bericht FuE-Leistungen zum litholo-gischen Aufbau und zur lithostratigraphischen Korrelation sowie zum bruchtektonischen Inventar der beiderseits des MSPSW in den Grubenfeldern Springen und Wintershall des Werkes Werra der K+S Minerals and Agriculture GmbH aufgeschlossenen salinaren Schichtenfolge (44 S., 6 Anlagen) (ERCOSPLAN Ingenieurgesellschaft Geotechnik und Bergbau mbH)	28.07.2021
		Anlagen zum Anhang 6	
[6-2-6-1]	1	Übersicht zu den Lokationen der durch K+S im Jahr 2021 vorbereiteten und von ERCOSPLAN aufgenommenen Aufschlüsse sowie schematische Darstellung der Aufschlüsse mit den Ergebnissen der röntgendiffraktometrischen Analysen der einzelnen feinstratigraphischen Zonen im Kaliflöz Hessen (z1KHe)	05.10.2021
[6-2-6-2]	2	Übersicht zu den Lokationen der durch K+S im Jahr 2021 vorbereiteten und von ERCOSPLAN aufgenommenen Aufschlüsse sowie	05.10.2021

		schematische Darstellung der Aufschlüsse mit den Ergebnissen der röntgendiffraktometrischen Analysen der einzelnen feinstratigraphischen Zonen im Kaliflöz Thüringen (z1KTh)	
[6-2-6-3]	3	Lithologische Ausbildung des Kaliflözes Hessen (z1KHe) im Grubenfeld Springen (1. Sohle) und im Markscheidesicherheitspfeiler (MSPSW) sowie den daran angrenzenden Teilen des Grubenfeldes Wintershall und im Sicherheits-pfeiler entlang der Baufeldgrenze zwischen den Grubenfeldern Springen und Merkers (SPBSM) sowie den daran angrenzenden Teilen des Bergwerkes Merkers, mit Isobathen der Basis des Kaliflözes Hessen (z1KHe)	06.10.2021
[6-2-6-4]	4	Lithologische Ausbildung des Kaliflözes Thüringen (z1KTh) im Grubenfeld Springen (2. Sohle) und im Markscheidesicherheitspfeiler (MSPSW) sowie den daran angrenzenden Teilen des Grubenfeldes Wintershall und im Sicherheitspfeiler entlang der Baufeldgrenze zwischen den Grubenfeldern Springen und Merkers (SPBSM) sowie den daran angrenzenden Teilen des Bergwerkes Merkers, mit Isobathen der Basis des Kaliflözes Thüringen (z1KTh)	05.10.2021
[6-2-6-5]	5	Übersicht zu den durch ERCOSPLAN im Zuge der Rupturkartierung bemusterten Lokationen und die Lokationen für die hydraulischen Versuche des IfG sowie Darstellung von Lage, Länge und Orientierung der beobachteten Rupturen in den Grubenbauen des Kaliflözes Hessen (z1KHe)	28.07.202 05.10.2021
[6-2-6-6]	6	Übersicht zu den durch ERCOSPLAN im Zuge der Rupturkartierung bemusterten Lokationen und die Lokationen für die hydraulischen Versuche des IfG sowie Darstellung von Lage, Länge und Orientierung der beobachteten Rupturen in den Grubenbauen des Kaliflözes Thüringen (z1KTh)	06.10.2021
[6-2-7]	7	Durchführung von hydraulischen Untersuchungen an bruchtektonischen Gebirgselementen im Nahfeld des Markscheidesicherheitspfeilers zwischen den Gruben-feldern Springen und Wintershall (Institut für Gebirgsmechanik GmbH)	19.07.2021
[6-2-8]	8	Vorliegende Erfahrungen bei der gebirgsmechanischen Bewertung von luft- und lösungserfüllt zu verwahrenden Gruben im Salzbergbau	30.07.2021

		(K+S Minerals and Agriculture GmbH, Werk Werra, Standort Merkers)	
[6-2-9]	9	Gutachterliche Stellungnahme zur gebirgsmechanischen Integrität und Funktionalität des Markscheidesicherheits-pfeilers zwischen den Gruben Springen/Merkers und Hattorf/Wintershall im Fall einer Einstapelung von Prozesslösungen in das Grubenfeld Springen (Institut für Gebirgsmechanik GmbH)	11.06.2021
[6-2-10]	10	Gutachten zur gebirgsmechanischen Verträglichkeit einer Einstapelung von Prozesslösungen in das Südwestfeld Springen (56 S., 64 Anlagen) (Institut für Gebirgsmechanik GmbH)	14.07.2021
~~[6-2-11]~~	~~11~~	~~Gutachten zur gebirgsmechanischen Verträglichkeit einer Einstapelung von Prozesslösungen in das Nordwestfeld Springen – Feld Abterode (35 S., 17 Anlagen) (Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig)~~	~~14.07.2021~~
[6-2-12]	12	Untersuchungen zum Kompaktionsverhalten von porösem Salzgebirge und gebirgsmechanische Modellrechnungen zum Integritätsverhalten des Markscheidesicherheits-pfeilers Springen/Wintershall (49 S., 5 Anlagen) (Institut für Gebirgsmechanik GmbH)	24.11.2020
[6-2-13]	13	Fluidmechanische Analyse des Verlösefortschritts in Sicherheitspfeilern bei der Einstapelung von Prozesswässern im Grubenfeld Springen (Institut für Gebirgsmechanik GmbH)	14.07.2021
[6-2-14]	14	Senkungsprognose für das SW-Feld Springen (14 S., 10 Anlagen) (Institut für Gebirgsmechanik GmbH)	14.07.2021
[6-2-15]	15	Grundriss 1. und 2. Sohle mit Darstellung der geologischen Informationen im vorhabensrelevanten Betrachtungsraum (als durchschaltbare pdf-Datei)	05.08.2021
[6-2-16]	16	Verfahrensbeschreibung der Einstapelungsbetriebsarten unter Tage. – Bestandteil der 4. Ergänzung zum Sonder-betriebsplan Erweiterung der Infrastruktur für den Transport von Prozessabwässern im Grubengebäude Hattorf-Wintershall – hier: Feldleitungssystem Einbindung AEE in den automatisierten Lösungstransport in die Grube Springen, DVS Nr. 3003123	22.02.2021
	Ergänzungen zum Antrag vom 07.08.2020		
[7]		Schreiben der K+S vom 07.12.2022	07.12.2022
		Anlagen zum Schreiben vom 07.12.2022	

[7-1]	1	Ergänzende geologische Untersuchungen bzgl. der Einstapelung im SW-Feld Springen (80 S., 32 Anlagen) (K+S Minerals and Agriculture GmbH, Werk Werra, Standort Hattorf)	07.12.2022
[7-2]	2	Stellungnahme zu den Fragen im Schreiben des Thüringer Landesamtes für Umwelt, Bergbau und Naturschutz vom 18. Oktober 2021 zur7. Ergänzung zum Abschlussbetriebsplan für die Grube Merkers/Springen, Einstapeln von Lösungen im Südwestfeld Springen (7 S., 16 Anlagen) (Institut für Gebirgsmechanik GmbH)	30.11.2022
[8]		Erläuternde Begründung der konservativen Ansätze bei der Bewertung der Auswirkungen einer Einstapelung kon-fektionierter Prozesswässer in das Grubengebäude Springen auf den Mark-scheidesicherheitspfeiler zwischen dem thüringischen Grubenfeld Springen und dem hessischen Grubenfeld Winters-hall, auf den Sicherheitspfeiler entlang der Baufeldgrenze zwischen den thüringischen Grubenfeldern Springen und Merkers sowie auf die anderen lateralen Barrieren des Grubenfeldes Springen (ERCOSPLAN Ingenieurgesellschaft Geotechnik und Bergbau mbH)	10.12.2021

Quellenverzeichnis 2: Externe Quellen

[a] Internetpräsenz der K+S Aktiengesellschaft ("Werk Werra – unser größter Kalistandort") https://www.kpluss.com/de-de/ueber-ks/standorte/europa/werra/, abgerufen am 17.02.2022

[b] BARNASCH, J. (2020): Untertagedeponien und Untertageverwertungen in Kali- und Steinsalzgruben des Zechsteins. – In: Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.; Koordination und Redaktion: J. Paul & H. Heggemann für die SubkommissionPerm-Trias): Stratigraphie von Deutschland XII. Zechstein. – In: Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Heft 89, 613-616.

[c] DEEP.KBB GmbH (03/2019): Gutachter-Bericht zur Dokumentation zum Forschungsprojekt "Untersuchungen zum Einstapeln und zum Versatz von Prozesswässern in Grubenhohlräume im hessisch-thüringischen Werra-Fulda-Kalirevier der Werke Werra und Neuhof-Ellers" der K+S AG (Bearbeiter: U. Düsterloh, H.-J. Herbert, K.-H. Lux, S. Wille, M. Wippich) – unveröffentlichter Bericht, 62 Seiten

[d] DEPPE, S., PIPPIG, M. (2002): Erkundung und Maßnahmen zur Beherrschung der Salzlösungszuflüsse im Grubenfeld Merkers. Kali und Steinsalz, 02/2002, Kaliverein e.V., 40-49.

[e] STEDING, S., KEMPKA, T., ZIRKLER, A., KÜHN, M. (2021): Spatial and Temporal Evolution of Leaching Zones within Potash Seams Reproduced by Reactive Transport Simulations. – Water 2021, 13, 168, 21 Seiten

Vermerk

DEEP.KBB

Projekt-Nr.:	**0806-882014**
Datum:	**29.03.2022**
Von:	**PD Dr. Horst-Jürgen Herbert, Dr. Sven Wille**
An:	**Dr. Manuel Kunzmann (Regierungspräsidium Kassel, Dezernat 34, Bergaufsicht)**
Kopie an:	**DEEP.KBB intern**

Kommentar der Gutachter des RPKS zur "Erweiterung des Monitoring-konzeptes" der K+S (7. Ergänzung zum Abschlussbetriebsplan Merkers/Springen, Lösungseintapelung im Südwestfeld Springen)

1 Veranlassung

Die K+S (die Antragstellerin) hat mit Datum vom 22. März 2022 eine Erweiterung des Konzeptes zum Lösungsmonitoring vorgelegt. Die Antragstellerin schlägt darin vor, das Lösungsmonitoring um folgende Punkte zu erweitern:

- den Einbau von jeweils einer radiometrischen Dichtemessung über- sowie untertage,
- den Einbau von jeweils einer zusätzlichen Temperaturmessung über- sowie untertage und
- die Einrichtung jeweils eines zusätzlichen Probenehmerautomaten zur Erstellung von Tagessammelproben untertage, sowohl auf hessischer Seite in der Grube Hattorf-Wintershall als auch auf thüringischer Seite in der Grube Springen.

Das RPKS hat die Behördengutachter um einen Kommentar zum genannten Konzept gebeten.

2 Bewertung

Entscheidend ist nach Auffassung der Gutachter vor allem der Nachweis, dass die Lösungszusammensetzung unmittelbar am Ort der Einstapelung nicht maßgeblich von der Sollzusammensetzung abweicht. Die Antragstellerin bezieht sich auf eine Lösung mit 98%iger Carnallitsättigung, gibt hierfür jedoch keine Bezugstemperatur an. Welche Eigenschaften die Lösung auf dem vorgeschalteten Weg von der "Konfektionierung" bis zur Einleitstelle hat bzw. wie sich einzelne Parameter auf diesem Weg gegebenenfalls ändern, ist für die betrieblichen Abläufe interessant, für die Bewertung möglicher Lösevorgänge im Stapelraum letztlich aber unerheblich.

Nach Auffassung der Gutachter muss daher die genannte Sättigung bei in-situ Temperatur im Stapelraum im Südwestfeld Springen gelten und möglichst auch dort kontrolliert werden. Dabei ist unter anderem auch zu beachten, dass die Lösung nicht z.B. auf dem Transportweg abkühlt, entstehende Fällungsprodukte von der Lösung getrennt werden und schließlich bei Wiedererwärmung auf in-situ-Temperatur die geforderte 98%ige Carnallitsättigung unterschritten wird.

Zielführende Messungen müssen die Erfassung von Dichte, Temperatur und Zusammensetzung der eingeleiteten "konfektionierten Lösungen anhand filtrierter Proben am Ort der Einstapelung beinhalten.

Die radiometrische Online-Dichtemessung erfolgt jedoch in der Suspension und nach dem von der K+S vorgeschlagenen Konzept zudem nicht an den maßgeblichen Orten. Die Interpretation solcher Messungen ist, wie die Antragstellerin selbst ausführt, kompliziert und nicht eindeutig, was Art und Menge der Schwebeteilchen und der Lösungszusammensetzung betrifft. Aus solchen Messungen ist die Lösefähigkeit

der Prozesswässer im Grubengebäude Springen nicht ohne weiteres ableitbar, weil nur die Lösungen selbst, nicht aber die darin enthaltenen Schwebeteilchen Lösepotential besitzen.

Trotzdem sind die kontinuierlichen Online-Dichtemessung betrieblich sinnvoll, weil damit die Einleitung von gering salzbelasteten Lösungen in die Rohrleitung zum Schacht Grimmberg schnell erkannt und abgestellt werden kann.

Aus den Ausführungen der K+S zur Einrichtung der zusätzlichen Probenehmerautomaten für Tagessammelproben geht nicht hervor, ob damit nur Suspensionsproben oder auch filtrierte Proben genommen werden. Der Text ist aber so formuliert, dass zu vermuten ist, dass nur die Analyse unfiltrierter Proben vorgesehen ist. Die Gewinnung von Suspensionsproben in Form von Sammelproben ist nicht sinnvoll, weil es zu irreführenden Ergebnissen führen kann, denn bei der Mischung unterschiedlicher Lösungen bei der Gewinnung von Sammelproben und leichten Temperaturänderungen kann es zu Fällungs- oder Rücklöseprozessen kommen, so dass Analyseergebnisse die tatsächliche Lösung zu keinem einzigen Zeitpunkt repräsentieren. Lösungen mit hohem Anteil an Schwebteilchen können ein deutlich höheres Lösepotential aufweisen, als die Ergebnisse von Analysen vermuten lassen, bei denen Fällungsprodukte zuvor wieder gelöst wurden. Damit kann gegebenenfalls ein deutliches Absinken der MgCl-Gehalte in der Lösung erst sehr spät erkannt werden, und zwar nur dann, wenn es bereits auf dem Weg zur Probenahmestelle zur massiven Bildung von Fällungsprodukten gekommen ist.

Um dies zu vermeiden sollten nur filtrierte Proben am Ort der Einstapelung analysiert werden. Nur solche Analysen lassen relevante Veränderungen der Lösungszusammensetzung frühzeitig erkennen.

3 Fazit

Analysen unfiltrierter Suspensionsproben täuschen gegebenenfalls falsche Lösungszusammensetzungen vor und verzögern notwendige Maßnahmen zur Einhaltung der Spezifikationswerte. Die Gutachter empfehlen daher nachdrücklich, den Nachweis der spezifikationsgemäßen Laugenzusammensetzung mittels filtrierter Lösungen, und zwar mit einer Probennahme sowie Temperatur- und Dichtemessung unmittelbar am Ort der Einstapelung.

Neben der Spezifikation der Lösungszusammensetzung sollten auch die maximal zulässigen Abweichungen festgelegt, begründet und nachweislich eingehalten werden.

Eine detailliertere Bewertung kann darüber hinaus erfolgen, wenn den Gutachtern die internen Verfahrensanweisungen für

- die Probennahme,
- die Analyse,
- die Interpretation der Analysenwerte und
- die zu ergreifenden Maßnahmen bei Abweichungen von den Spezifikationswerten

zugänglich gemacht werden.

Vermerk

DEEP.KBB

Projekt-Nr.:	**0806-882014**
Datum:	**11.05.2022**
Von:	**Behördengutachter DEEP.KBB**
An:	**Regierungspräsidium Kassel, Dezernat 34, Bergaufsicht, z.Hd. Dr. Manuel Kunzmann**
Kopie an:	**DEEP.KBB intern**

Beantwortung der Stellungnahme der K+S zur Erweiterung des Monitoringkonzeptes

1 Veranlassung

Im Zusammenhang mit dem laufenden Zulassungsverfahren zur "7. Ergänzung zum Abschlussbetriebsplan Merkers/Springen, Lösungseintapelung im Südwestfeld Springen" hat die Antragstellerin K+S mit Datum vom 22.03.2022 eine Erweiterung des Konzeptes zum Lösungsmonitoring vorgelegt ([1]). Auf Bitte des RPKS haben die Behördengutachter das erweiterte Konzept kommentiert; der diesbezügliche Vermerk vom 29.03.2022 wurde vom RPKS an das TLUBN und von diesem wiederum an die K+S weitergeleitet.

Die Antragstellerin (K+S Minerals and Agriculture GmbH, Werk Werra 2) hat ihrerseits in einem Schreiben an das TLUBN vom 02.05.2022 auf den Gutachterkommentar reagiert. Mit dem vorliegenden Vermerk nehmen die Gutachter des RPKS erneut zu den Inhalten des jüngsten Schreibens der K+S Stellung.

2 Stellungnahme der Behördengutachter

Zu Punkt 1 des Schreibens vom 02.05.2022

Ausführung der Antragstellerin:

„Die Gutachter PD Dr. Horst-Jürgen Herbert und Dr. Sven Wille von DEEP.KBB bemängeln, dass sich K+S auf eine Lösung mit 98%iger Carnallitsättigung beziehe, jedoch keine Bezugstemperatur angäbe. Es ist korrekt, dass in dem am 22. März 2022 eingereichten Schreiben "Erweiterung des Monitoringkonzeptes" [1] nicht auf die angestrebte qualitative Lösungszusammensetzung wie z.B. die Carnallitsättigung inklusive Bezugstemperaturen eingegangen wird. Gegenstand dieses Schreibens sind ausschließlich ergänzende Monitoringmaßnahmen, die es erlauben u. a. kontinuierlich Rückschlüsse auf eventuelle Veränderungen in der Zusammensetzung der Einstapellösung inkl. des Feststoffes zu ziehen."

"Die Zusammenhänge zwischen Carnallitsättigung und Temperatur der Einstapellösung (inkl. Feststoff) werden in den Unterlagen [2] und [3] ausführlich beschrieben. In [2] wird in Kapitel 5 die Herleitung der 98%igen Carnallitsättigung unter Bezugnahme auf den Q-Punkt im quinären System bzgl. $MgCl_2$, $MgSO_4$, KCl, NaCl und H_20 bei 20°C erläutert. Im weiteren wird in [3] dargestellt, dass das Maß der Carnallitsättigung u. a. von der Lösungstemperatur abhängt, wobei saisonale Schwankungen der Lösungstemperatur nicht vermieden werden können: "Um etwaige betriebliche Schwankungen bzw. zeitlich begrenzte Abweichungen von der angestrebten Carnallitsättigung in Höhe von 98 % bezogen auf 20°C bzw. einem mittleren Magnesiumgehalt von mindestens 9,6 g Magnesium / 100 g H_2O kompensieren zu können, wird bei höheren Lösungstemperaturen das ebenfalls höhere Aufnahmevermögen der Lösung bzgl. $MgCl_2$ ausgeglichen, indem im Konfektionierungsprozess höhere Gesamtmagnesiumgehalte eingestellt werden." Ebenfalls wird in [2] dargestellt, dass eine Ausnutzung des höheren Aufnahmevermögens bzgl. Magnesium bei höheren Lösungstemperaturen bezogen auf die höchste Temperatur im Grubentiefsten (20°C) vorteilhaft ist, da

grundsätzlich mit einer Abkühlung der Lösung zu rechnen ist. Damit einhergehend ist die Verschiebung der Carnallit-Sättigung zu geringeren Mg-Gehalten in der Lösung bzw. zu höheren Carnallitsättigungsgraden, siehe [2], Kapitel 5.3. Daher ist nach Auffassung von K+S letztlich die Temperatur im Grubentiefsten ausschlaggebend."

Erwiderung der Gutachter:

Es ist richtig, dass im Anhang 4.2 zur "7. Ergänzung zum Abschlussbetriebsplan Werk Werra Grube Merkers, Einstapeln von Lösungen im Südwestfeld Springen" ([2], Seite 6) sowie im "Geotechnischen Begleitbericht" ([3], Seite 63) für die Lage des Q-Punktes als Bezugstemperatur 20°C angegeben ist.

Die Gutachter teilen die Auffassung der K+S, dass im oben ausgeführten Zusammenhang *„letztlich die Temperatur im Grubentiefsten ausschlaggebend"* ist.

Die benannte Bezugstemperatur von 20°C ist demnach konsistent mit der Darstellung in [3] (Seite 39), der zufolge vom Baufeldtiefsten (dort nicht beziffert) bis -140 m NN Temperaturen zwischen 17°C und 20°C gemessen wurden.

Der Abbau und die diesem i.d.R. folgende langjährige Bewetterung verändern das natürliche Temperaturfeld und führen in den meisten Fällen zu einer Temperaturerniedrigung im Gebirge. Mittel- bis langfristig werden sich im den Stapel umschließenden Gebirge wieder natürliche Temperaturbedingungen einstellen, wenn man vom Einfluss der weiterhin lufterfüllten und gegebenenfalls weiterhin bewetterten Grubenaue auf hessischer Seite und vom thermischen Einfluss der Stapellösung selbst absieht. Die Temperaturbedingungen, welche daraufhin im Gebirge um den Stapel vorherrschen werden, sind hier für die Betrachtung der langfristigen Auswirkungen des Einstapelns im Südwestfeld Springen maßgeblich. Nähere Angaben zu durchgeführten Temperaturmessungen werden nicht gemacht, so dass nicht festgestellt werden kann, inwiefern diese tatsächlich eine annähernd ungestörtes Temperaturfeld abbilden.

Voraussetzung für die Richtigkeit aller angestellten Betrachtungen, die sich mit temperaturabhängigen Wechselwirkungen der Einstapellösung mit dem Gebirge befassen, ist, dass der gemessene Temperaturbereich tatsächlich dem annähernd ungestörten Temperaturfeld entspricht.

Laut Anhang 4.2 beträgt die Temperatur im Grubenfeld Springen im Tiefsten *„ca. 20°C"* ([2], Seite 6). Die zu betrachtenden Lösungssysteme und deren invariante Punkte (z.B. Q-Punkt und R-Punkt) sind bekannt für ihre ausgeprägte Empfindlichkeit gegenüber Temperaturänderungen. Eine ungefähre Temperaturangabe ist daher für die Festlegung von Anforderungen an die Einstapellösung nicht als ausreichend zu erachten.

Im Kapitel 5.4 *Chemismus der Einstapellösung* ([2]) enthält die Tabelle 3 die Angabe von *„9,6*"* g Magnesium / 100 gH_2O (mit der Fußnote zur Tabelle *„*Gemäß Antragsgegenstand"*) als Minimalwert für die *„konfektionierte Lösung"*. Die Tabellenüberschrift stellt hervor, dass es sich um Zusammensetzungen *„bei einer mittleren Lösungstemperatur von ca. 24°C"* handelt. Ob dort eine 98%ige Carnallit-Sättigung bereits mit abgebildet ist, kann diesem Kapitel nicht entnommen werden.

Die Tabelle 12 im "Geotechnischen Begleitbericht" [3] gibt ebenfalls typische, minimale und maximale Elementgehalte für die *„konfektionierte Lösung"* an, hier allerdings ganz ohne Benennung einer Bezugstemperatur. Bemerkenswerterweise stimmen alle dort angegebenen Werte, bis auf die Chlorid-Konzentrationen, exakt mit denen in Tabelle 3 in ([2]) überein.

Es kann daher festgehalten werden, dass in [2] zwei widersprüchliche Angaben bezüglich der Bezugstemperatur für die minimale Magnesiumkonzentration von 9,6 g Magnesium / 100 gH_2O gemacht werden. Unter Umständen hätte die Benennung einer Bezugstemperatur im Schreiben "Erweiterung des Monitoringkonzeptes" vom 22. März 2022 ([1]) hierzu Klarheit verschaffen können.

Es ist darauf hinzuweisen, dass selbstverständlich konsequent dafür Sorge getragen werden muss, dass die Einstapellösung keine Untersättigung gegenüber Halit und Sylvin aufweist.

Zu Punkt 2 des Schreibens vom 02.05.2022

Ausführung der Antragstellerin:

„Die in-situ Temperatur im Stapelraum wird hingegen seitens DEEP.KBB als Bezugstemperatur gesehen. Nach Einschätzung von K+S kann die Einhaltung der Carnallitsättigung im Stapelraum in Höhe von 98 % jedoch auch dann eingehalten werden, wenn die Temperatur im Stapelraum höher ist als diejenige der "frischen" Einstapellösung, solange jedes einzelne zutretende Volumenelement mindestens zu 98 % an Carnallit gesättigt ist. K+S trägt dafür Sorge, dass die Temperatur der Einstapellösung inklusive Feststoff die höchste Temperatur im Grubentiefsten (20°C) nicht unterschreitet.“

Erwiderung der Gutachter:

Zur Kenntnis genommen. Die technische Umsetzung der Vorsorge ist ggf. mit der Behörde abzustimmen.

Zu Punkt 3 des Schreibens vom 02.05.2022

Ausführung der Antragstellerin:

„Eine Abkühlung der Lösung auf dem Transportweg kann nicht ausgeschlossen werden. Nach Auffassung von K+S ist dies jedoch nicht nachteilig, da dadurch die Carnallitsättigung der Lösung ansteigt. Ein Anstieg der Carnallitsättigung auf 100 % würde insbesondere bei weiterer Abkühlung zu einer Carnallitkristallisation führen. Durch regelmäßiges Molchen der Rohrleitung wird gewährleistet, dass etwaig ausgefallenes Kristallisat dem Lösungssystem nicht entzogen, sondern mit der Lösung zusammen dem Stapelraum zugeführt wird und so als lösliche Mg-Quelle zur Verfügung steht. Die beschriebene Carnallitkristallisation bei Abkühlung lässt jedoch auch zwischenzeitlich nicht befürchten, dass es im Stapelraum zu signifikanten Abweichungen von der angestrebten 98 %igen Carnallitsättigung kommt, da jedes Volumenelement zu mindestens 98 % an Carnallit gesättigt ist (siehe vorherigen Absatz) und somit auch die Mischung diesen Wert nicht signifikant unterschreiten kann."

"DEEP.KBB geht einerseits davon aus, dass sich die Einstapellösung bei Eintritt in den Einstapelraum erwärmen kann, andererseits die "Schwebeteilchen" in der Lösung für die Löseprozesse nicht relevant sind, da nur die Lösung selbst Lösepotential besitzt. Dies kann seitens K+S nicht nachvollzogen werden. Wird der hypothetische Fall angenommen, dass sich die "frische" Einstapellösung erwärmt, ohne dass sich die Lösung im Einstapelraum abkühlt, also keine neue Mischtemperatur entsteht, dann würde sich der Feststoff, welcher der Lösung am zugänglichsten ist, primär verlösen. Am zugänglichsten ist der Feststoff, welcher direkt in der Lösung enthalten ist. Auch lösen sich Sekundärkristallisate mit großer Oberfläche (kleine Partikel) in der Regel schneller als "gealterte Kristallisate" mit kleiner Oberfläche. Letztere werden als Synonym für das Salz am Stoß untertage betrachtet.“

Erwiderung der Gutachter:

Das Absetzen von Feststoffen, zu welchen auch durch Molcharbeiten mobilisierte Kristallisate gezählt werden können, kann schneller erfolgen, als die Einstellung eines thermischen Gleichgewichtszustandes. Es kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass sich Feststoffe in Bereichen (lokalen Tiefpunkten) absetzen, die mit einer schweren, bereits teil- oder vollgesättigten Lösung in einem geschichteten Lösungskörper erfüllt sind. In einem solchen Fall wäre eine Rücklösung der Kristallisate eingeschränkt oder gar vollständig unterbunden. Die Kristallisate können dann nicht mehr zur Sättigung beitragen.

Den Gutachtern ist im Übrigen nicht völlig nachvollziehbar, wieso die K+S offenbar davon ausgeht, dass sich Kristallisate in jedem Fall als lockeres Haufwerk in der Rohrleitung absetzen werden, das mechanisch durch Molchen auch über längere Leitungsstrecken entfernt werden kann. Erfahrungen aus anderen technischen Bereichen, in denen hochkonzentrierte Salzlösungen durch Rohrleitungen bewegt werden zeigen indes, dass sich Kristallisate auch als fester Kristallverbund an der Rohrinnenwandung anheften können ("Scaling"), der dann u.U. nur durch Spülen mit untermineralisierter Lösung wieder effektiv entfernt werden kann.

Zu Punkt 4 des Schreibens vom 02.05.2022

Ausführung der Antragstellerin:

„Nach Auffassung von DEEP.KBB ist "Die Gewinnung von Suspensionsproben in Form von Sammelproben [ist] nicht sinnvoll, weil es zu irreführenden Ergebnissen führen kann, denn bei Mischung unterschiedlicher Lösungen bei der Gewinnung von Sammelproben und leichten Temperaturänderungen kann es zu Fällungs- oder Rücklöseprozessen kommen, so dass Analysenergebnisse die tatsächliche Lösung zu keinem einzigen Zeitpunkt repräsentieren." K+S verfolgt den Ansatz den Input in den Stapelraum vollständig zu erfassen und anhand von Suspensionsanalysen Rückschlüsse auf die Sättigungsverhältnisse der Lösung zu ziehen. Es wurde dieser Ansatz gewählt, da zum einen automatische Filtrationstechniken in Kombination mit Probenahmeautomaten zur Erstellung von repräsentativen Lösungssammelproben nicht Stand der Technik sind. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass es sich bei der Einstapellösung um ein kristallisierendes Medium mit vergleichsweise hohen Viskositäten und feinem Feststoff handelt, wodurch eine Filtration ohne Beeinflussung der Lösung erschwert wird. Zum anderen ist der Feststoff bei der Vermischung der "frischen" Einstapellösung mit der Lösung im Stapelraum entscheidend, da er primär als Lösungspartner zur Verfügung steht und somit die Lösepotentiale entscheidend beeinflusst."

"DEEP.KBB befürchtet, dass ein deutliches Absinken des $MgCl_2$-Gehaltes in der Lösung bei einer Suspensionsanalytik erst sehr spät erkannt werden kann. Für die Beurteilung von Lösungs-, Kristallisations- oder gar Umsetzungsprozessen ist eine volumenbezogene Konzentrationsangabe nicht zielführend. Sie bezieht sich gleichzeitig auf zwei sich unabhängig voneinander verändernden Variablen, die ihrerseits wieder von einer dritten Größe, der Temperatur, abhängen. So kann es sein, dass die Konzentrationen der g/L-Werte aus ein- und derselben Lösung durch Temperaturänderung infolge der damit verknüpften Volumenänderung variieren, ohne dass es dabei zu Salzausscheidungen oder -auflösungen kommt Aus diesem Grund wird die volumenunabhängige Einheit g Salz / 100 g H_2O verwendet Ähnlich schwierig ist der Einfluss des Feststoffes bei der Verwendung von volumenabhängigen Einheiten zu bewerten (siehe [2], [3])." (…)

„Unter Berücksichtigung der relevanten Gleichgewichtsdaten zum quinären System kann schnell erkannt werden, dass Übersättigungen an Halit und Kainit vorliegen müssen, deren Menge aus den jeweiligen Gleichgewichtsdaten berechnet werden kann. Auf diese Weise ist grundsätzlich ein Rückschluss auf die Carnallitsättigung bei jeder beliebigen Temperatur möglich."

"Die Analyse unfiltrierter Suspensionsproben lässt somit durchaus einen Rückschluss auf die Sättigungsverhältnisse in der Einstapellösung zu. Die Erstellung einer automatischen repräsentativen Sammelprobe in Kombination mit einer Filtration ist unter Berücksichtigung der chemischen und physikalischen Eigenschaften der Einstapellösung kein Verfahren nach dem Stand der Technik. Der Nachweis der spezifikationsgerechten Lösungszusammensetzung ausschließlich auf Basis einer Temperatur- und Dichtemessung vor Ort erscheint zweifelhaft. Es wird davon ausgegangen, dass hier die im Schreiben [1] beantragte radiometrische Dichtemessung untertage gemeint ist. Die geplante radiometrische Dichtemessung erfasst ausschließlich die Suspensionsdichte und nicht die reine Lösungsdichte."

"In den Schreiben [2] und [3] wird dargelegt, dass ein Grenzwert von 9,6 g Magnesium / 100 g H_20 im gleitenden Monatsmittel nicht unterschritten wird. Die Herleitung dieses Wertes wird ebenfalls in [2] und [3] erläutert. Die relevante Probenahme am Schacht Grimberg übertage ist in den eingereichten Unterlagen ebenfalls ausführlich beschrieben. Interne Verfahrensanweisungen in denen beispielsweise Maßnahmen (z. B. Informationsketten etc.) bei Abweichungen der angestrebten Lösungsqualität beschrieben sind, sind nicht Antragsgegenstand. Die zu ergreifende Maßnahme bei Abweichungen der Lösungsqualität ist z. B. unter [2], Kapitel 6.2 beschrieben.“

Erwiderung der Gutachter:

In den Augen der Gutachter ist die Einhaltung des unteren Grenzwertes (nämlich die 98%ige Carnallit-Sättigung bei 20°C, siehe dazu auch oben Erwiderung unter Punkt 1) für den Zeitpunkt und Ort des Eintritts der Einstapellösung in den Stapelraum eine Voraussetzung für die Machbarkeit des Vorhabens. Wenn die abschließende Kontrolle der Qualität der Einstapellösung an diesem Ort technisch nicht umsetzbar ist, ist

dennoch sicherzustellen, dass die abschließende Qualitätskontrolle in größtmöglicher räumlicher Nähe zu diesem Ort und bei Randbedingungen erfolgt, welche den Bedingungen am Einleitpunkt insbesondere in Hinblick auf die Temperatur am nächsten kommen.

Generell ist eine automatisierte Probenahme wahrscheinlich aus betrieblichen Gründen vorteilhaft, jedoch nicht erforderlich. Die Beprobung kann händisch bei gleichzeitiger Messung und Dokumentation der Probentemperatur erfolgen, wodurch sich auch keine Einschränkungen bei der laborativen Bearbeitung der Proben, beispielsweise bei der Filtration, ergeben sollten.

Bei der Gewinnung von Sammelproben werden ausschließlich Mischproben erzeugt, die aus oben genannten Gründen die Lösungszusammensetzung zu keinem Zeitpunkt sicher repräsentieren können.

Aus den bestehenden Darstellungen wird nicht deutlich, wie die in der Suspension befindlichen Feststoffe laborativ bearbeitet und analysiert bzw. bei der Analyse berücksichtigt werden sollen. Es ist anzunehmen, dass die Kristallisate in den Proben durch Verdünnung wieder in Lösung gebracht und bei der nachfolgenden Analyse mit erfasst werden sollen.

Wie im Schreiben vom 02.05.2022 richtig festgestellt und anhand von Tabellen für unterschiedliche Suspensionsfrachten von der Antragstellerin gezeigt, können Analyseergebnisse in massenbezogenen Einheiten mindestens Hinweise auf die Mineralogie der suspendierten Feststoffe geben. Es ist aber möglich, dass sich aus einer Analyse von Einstapellösung einschließlich der in derselben suspendierten Feststoffe rechnerisch beispielsweise eine scheinbare Halit-Übersättigung ergibt (Halit als Feststoff in Suspension in NaCl-gesättigter Lösung, denn die Lösung selbst wird nicht übersättigt sein). Kommt es dann zu einer Abtrennung der Kristallisate während des Transportes oder zu einem Absetzen der Kristallisate in Bereichen des Stapels, in denen eine Rückverlösung nur noch eingeschränkt ablaufen kann (siehe oben Erwiderung zu Punkt 3), kann dies bei gleichzeitigen Temperaturänderungen zu Untersättigungen in Bezug auf die gesteinsbildenden Minerale führen.

Es muss sichergestellt werden, dass kein Carnallit aus der Einstapellösung ausfällt. Darüber hinaus würde auch die nicht unwahrscheinliche Kristallisation von Magnesium-Phasen wie Kainit oder Leonit aus der konfektionierten Einstapellösung effektiv zu einer Verringerung des Magnesium-Gehaltes der Flüssigphase führen. Die Einhaltung des unteren Grenzwertes für den Magnesium-Gehalt (in der Darstellung bei 9,6 g Mg / 100 g H_2O) ist jedoch aus dem hier unter Punkt 3 erläutertem Grund allein für die Flüssigphase der Suspension als erforderlich zu sehen. Eine Gewinnung von Filtrat-Proben ist unabdingbar, weil nur anhand solcher Proben der Nachweis erbracht werden kann, dass dieser Grenzwert und damit eine minimal 98%ige Sättigung bezüglich Carnallit in der Flüssigphase der Suspension eingehalten wird.

Es wird angeraten, dass die Analyseergebnisse zeitnah und automatisiert ausgewertet werden, wobei die Auswertungsroutine auf Basis einer anerkannten thermodynamischen Datengrundlage Rechenergebnisse erzeugen sollte, zu denen auch mindestens Sättigungen der relevanten Salzminerale bei der Bezugstemperatur von 20°C sowie die Probendichte und gegebenenfalls die Suspensionsfracht gehören.

In Bezug auf ein Monitoring auf der Grundlage eines gleitenden Monatsmittels sehen die Gutachter die Schwierigkeit, dass dadurch theoretisch für eine gewisse Zeit das Einstapeln von deutlich untersättigten Lösungen zulässig wäre, während derer diese Untersättigung bereits auf die Pfeilergesteine wirken könnte. Ohne eingehendere Beschäftigung mit der genauen Zusammensetzung der 33%igen $MgCl_2$- Lösung und der theoretischen und technischen Kapazität dieser Lösungen, Sättigungsdefizite effektiv auszugleichen, kann seitens der Gutachter nicht bestätigt werden, dass ein solcher Ausgleich ohne zusätzliche schadensrelevante Einwirkungen für jede Situation gegeben sein wird. Bereits im Vermerk zum Ergebnis der Vorprüfung der Antragsunterlagen (vom 25.09.2020) wurde von den Gutachtern darauf hingewiesen, dass für die Einhaltung des vorgeschlagenen Mittelwertes ein kürzerer Zeitraum als ein Monat angestrebt werden sollte.

DEEP. KBB

Quellenverzeichnis

[1] K+S (03/2022): 7. Ergänzung zum Abschlussbetriebsplan Werk Werra Grube Merkers – Lösungseinstapelung im Südwestfeld Springen, Erweiterung des Monitoringkonzeptes (Schreiben an das TLUBN von 22.03.2022).

[2] K+S (07/2020): 7. Ergänzung zum Abschlussbetriebsplan Werk Werra Grube Merkers, Einstapeln von Lösungen im Südwestfeld Springen, Anhang 4.2 Betriebsregime.

[3] K+S (08/2021): Geotechnischer Begleitbericht, Anhang 6 zur 7. Ergänzung zum Abschlussbetriebsplan Werk Werra Grube Merkers - Einstapeln von Lösungen im Südwestfeld Springen.